

Trabalho Conclusão Curso

ANTONIO BARZAN NETO

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL ATRAVÉS DA NOVA PROPOSTA BRASILEIRA DE ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES

FLORIANÓPOLIS

2018



Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Engenharia Civil

ANTONIO BARZAN NETO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL
ATRAVÉS DA NOVA PROPOSTA BRASILEIRA DE ETIQUETAGEM DE
EDIFICAÇÕES**

Relatório do Trabalho de Conclusão do Curso de
Graduação em Engenharia Civil do Centro
Tecnológico da Universidade Federal de Santa
Catarina

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Coorientadora: Eng. Civil Ana Paula Melo, Dra.

FLORIANÓPOLIS

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Barzan, Antonio

Análise da eficiência energética de uma edificação residencial através da nova proposta brasileira de etiquetagem de edificações / Antonio Barzan ; orientador, Roberto Lamberts, coorientadora, Ana Paula Melo, 2018.
64 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência Energética em Edificações. 3. Novo Regulamento Brasileiro de Etiquetagem Residencial. 4. Edificações de Baixa Renda. I. Lamberts, Roberto. II. Melo, Ana Paula. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

ANTONIO BARZAN NETO

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO
RESIDENCIAL ATRAVÉS DA NOVA PROPOSTA BRASILEIRA DE
ETIQUETAGEM DE EDIFICAÇÕES**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação.

Florianópolis, 19 de novembro de 2018.

Prof.^a Luciana Rohde, Dr.^a

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:



Prof. Roberto Lamberts, PhD.
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Eng.^a Civil Ana Paula Melo, Dr.^a

Coorientadora

Prof. Ricardo Rüther, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.^a Michele Fossati, Dr.^a

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Ivete e Gilberto, pelo apoio que obtive ao longo de toda minha vida.

Aos meus amigos pelo suporte que recebi durante anos, amparando-me em momentos difíceis e me trazendo diversas alegrias.

Ao professor Roberto Lamberts, pela orientação, auxiliando na tomada de decisões ao longo do desenvolvimento deste trabalho. A engenheira Ana Paula Melo, pela coorientação, colaborando com o aperfeiçoamento deste trabalho e auxiliando com as diversas dúvidas que surgiram principalmente durante o desenvolvimento das análises.

Por fim agradeço a todos os colegas e professores que conheci durante a graduação, que colaboraram com minha formação acadêmica.

RESUMO

Nos últimos anos, um dos principais problemas sociais discutidos no Brasil é o déficit habitacional. Tentando resolver esta questão surgiram programas como o Minha Casa Minha Vida. Desta forma, o mercado nacional de construção civil passou a apresentar um crescimento de edificações destinadas a famílias de baixa renda. Porém, muitos dos projetos deste tipo de edificação não aplicam conceitos de eficiência energética. Além disso, estes projetos são frequentemente replicados em locais com orientações solares e até climas diferentes. Com base nisto, este trabalho buscou avaliar uma edificação de baixa renda através do novo regulamento brasileiro de etiquetagem residencial. Esta avaliação do projeto foi analisada para todas as orientações solares, considerando os fundos da edificação voltados para a orientação norte, leste, sul e oeste. Após esta avaliação inicial, apresentou-se medidas de eficiência energética com o objetivo de melhorar o desempenho da edificação. Como propostas para a envoltória da edificação foram analisadas a troca da composição da cobertura, a troca do tipo de vidro utilizado nas janelas e o uso em conjunto destas propostas. Já para o sistema de aquecimento de água foram propostos o uso de aquecedores a gás e o uso de coletores solares. Por fim, também foi avaliada a viabilidade econômica destas propostas, levando em conta a economia com a conta de energia e o custo de implantação das medidas de eficiência energética. A envoltória do caso base foi avaliada como classe A para todas as orientações analisadas. Porém, como seu sistema de aquecimento de água obteve a classe D, a classificação final das unidades habitacionais foi C. Com a proposta de mudança do sistema de cobertura a classificação final obtida continuou C. Já com a proposta de alterações dos vidros, e com a proposta de aplicação em conjunto das duas medidas relacionadas a envoltória, foi possível obter a classificação final B. Com relação as propostas para o sistema de aquecimento de água, ambas as medidas obtiveram classificação A. No que diz respeito à classificação final da unidade habitacional, foi possível obter classe B com o sistema de aquecimento a gás e classe A com o sistema aquecimento solar. Em se tratando da análise de viabilidade financeira, as propostas relacionadas a envoltória apresentaram valores de payback elevados. Para estas propostas o menor valor de payback encontrado foi de cerca de 75 anos, para a aplicação em conjunto da mudança no sistema de cobertura e no tipo de vidro. No que diz respeito às propostas para o sistema de aquecimento de água, o sistema de aquecimento solar apresentou um payback de cerca de 21 anos. Já o sistema com aquecedor a gás apresentou um payback de cerca de 3 anos e uma TIR de 31%. A proposta do uso do aquecimento a gás foi a única medida de eficiência energética que alcançou valores de payback dentro do limite proposto de 10 anos, e uma TIR acima da TMA proposta de 12%. O possível uso em conjunto das propostas para envoltória e para o sistema de aquecimento de água foram descartadas, devido aos altos valores de payback obtidos pelas propostas para o sistema de envoltória.

Palavras-chave: Eficiência Energética em Edificações. Novo Regulamento Brasileiro de Etiquetagem Residencial. Edificações de Baixa Renda.

ABSTRACT

In the last years, one of the main social problems discussed in Brazil is the housing inequality. Trying to resolve this issue, programs like Minha Casa Minha Vida (My House My Life) have emerged. In this way, the national construction market started to show the growth of buildings destined to low-income families. However, many of the projects of this type of construction do not apply concepts of energy efficiency. In addition, these projects are often replicated in locations with different solar orientations and even different climates. Based on this, this paper sought to evaluate a low-income building through the new Brazilian residential labeling regulation. This project evaluation was analyzed for all solar orientations, considering the back of the building for north, east, south and west. After this initial evaluation, energy efficiency measures were presented with the objective of improving the performance of the building. As proposals for the building envelope were analyzed the exchange of the composition of the roof, the exchange of the type of glass used in the windows and the joint use of these proposals. As for the water heating system, the use of gas heaters and the use of solar heating were proposed. Finally, the economic viability of these proposals was also evaluated, taking into account the economy with the energy bill and the cost of implementing the energy efficiency measures. The base case envelope was evaluated as class A for all orientations analyzed. However, as its water heating system obtained class D, the final classification of the housing units was C. With the proposal to change the roof system, the final classification obtained continued C. With the proposal of alterations of the glasses and with the proposal of joint application of the two measures related to the envelope, it was possible to obtain the final classification B. Regarding the proposals for the water heating system, both measurements obtained a rating of A. With regard to the final classification of the housing units, it was possible to obtain class B with the gas heating system and class A with the solar heating system. Regarding the financial feasibility analysis, the proposals related to the envelope presented high payback values. For these proposals, the lowest payback value found was about 75 years, for the joint application of the change in the roof system and the type of glass. With regard to the proposals for the water heating system, the solar heating system showed a payback of about 21 years. The gas heating system presented a payback of around 3 years and an IRR of 31%. The proposal for the use of gas heating was the only energy efficiency measure that reached payback values within the proposed 10-year limit, and an IRR above the proposed MARR of 12%. The possible joint use of the proposals for the envelope and for the water heating system were discarded, due to the high values of payback obtained by the proposals for the system of the envelope.

Keywords: Building Energy Efficiency. New Brazilian Residential Labeling Regulation. Low Income Building.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Usos finais de energia elétrica no Brasil.....	22
Figura 2 - Planta baixa do caso base.....	33
Figura 3 - Foto de uma construção feita a partir do projeto avaliado neste trabalho	36
Figura 4 - Orientações usadas nas análises, respectivamente FN, FL, FS e FO.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características de cada faixa do programa MCMV	19
Tabela 2 - Usos finais anuais de energia elétrica em residências de baixa renda em Florianópolis.....	23
Tabela 3 - Composição média do consumo de eletricidade em habitações brasileiras	24
Tabela 4 - Dados gerais da edificação	34
Tabela 5 - Variáveis de desempenho térmico adotados para edificação de referência	35
Tabela 6 - Variáveis de desempenho térmico adotados para edificação real	35
Tabela 7 - Cálculo da absorvância média das paredes externas.....	36
Tabela 8 - Áreas de vidro na fachada dos APPs da edificação real.....	37
Tabela 9 - Áreas de vidro na fachada dos APPs da edificação de referência.....	37
Tabela 10 - Limites do método simplificado.....	38
Tabela 11 - Dados referentes ao aquecimento de água	40
Tabela 12 - Desempenho da envoltória do caso base.....	43
Tabela 13 - Classificação final do caso base	44
Tabela 14 - Desempenho das soluções propostas para o sistema de envoltória.....	45
Tabela 15 - Classificação final do caso base com as MEEs relacionadas à envoltória.....	47
Tabela 16 - Classificação das propostas para o sistema aquecimento de água	48
Tabela 17 - Classificação final das UHs com as propostas para o sistema de aquecimento de água.....	49
Tabela 18 - Custos incrementais referentes as aplicações de MEEs	50
Tabela 19 - Análise de viabilidade financeira das propostas para envoltória	51
Tabela 20 - Custos de aplicação das propostas para o sistema aquecimento de água.....	52
Tabela 21 - Análise de viabilidade financeira das propostas para o sistema de aquecimento de água.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

APP – Ambientes de permanência prolongada

AsBEA – Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

BEN – Balanço Energético Nacional

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações

COFINS – Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

ENCE – Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FJP – Fundação João Pinheiro

GCL – Grupo climático

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDEC – Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor

INI-R – Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

MCMV – Programa Minha Casa Minha Vida

NBR – Norma Brasileira

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PIS – Programa de Integração Social

PNAD – Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios

PNE – Plano Nacional de Energia

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

PSH – Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social

RAC – Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações

RTQ – Regulamento Técnico da Qualidade

RTQ-C – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R – Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

TIR – Taxa interna de retorno

TMA – Taxa mínima de atratividade

UH – Unidade habitacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Justificativa.....	15
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo geral	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Déficit habitacional nacional.....	17
2.2	Consumo de energia em edificações	20
2.3	Eficiência energética em edificações	24
2.3.1	Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R).....	25
2.4	Payback	29
2.5	Considerações finais.....	31
3	MÉTODO.....	32
3.1	Caso de estudo.....	32
3.1.1	Envoltória.....	32
3.1.2	Aquecimento de água	40
3.2	Medidas de eficiência energética	40
3.3	Payback	41
4	RESULTADOS.....	43
4.1	Caso base.....	43
4.2	Medidas de eficiência energética	44
4.3	Payback	49
5	CONCLUSÃO	54
5.1	Limitações do trabalho	56
5.2	Sugestões para trabalhos futuros	56
	REFERÊNCIAS	57

APÊNDICE A – Valores de áreas de fachadas e percentuais de vidro para condição real e de referência	60
ANEXO A – Planta baixa do caso base	64

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Nos últimos anos, principalmente através do subsídio do governo federal por meio de programas como o “Minha Casa, Minha Vida”, foi possível verificar um aumento nas construções de projetos residenciais de interesse social, como casas geminadas (edifícios multifamiliares térreos).

O projeto destas casas geminadas, normalmente implantados em condomínios recém construídos, apresenta uma série de peculiaridades. A principal delas é a relação entre a disposição dos ambientes internos de duas casas diferentes e as restrições impostas por terrenos pequenos, de 12 m por 30 m, ou até mesmo de 10 m por 20 m. Tais restrições fazem com que os projetos destas casas variem muito pouco e seja replicado diversas vezes em locais diferentes.

Porém, no processo de desenvolvimento de edificações eficientes são necessários projetos em concordância com o clima local, sendo que a escolha correta dos materiais e estratégias adotadas na envoltória são fundamentais na obtenção de conforto térmico e eficiência energética (INDIVIATA et al., 2016).

Desta forma, sem o devido cuidado com as especificidades do local de implantação como a orientação solar, estas construções podem incorrer em residências de baixa eficiência energética, gerando desconforto aos habitantes e um consumo maior de energia. E, em se tratando do consumo energético de edificações, pesquisas demonstram como a aplicação de medidas de eficiência energética podem ter um impacto positivo (INDIVIATA et al., 2016; LIMA, PEDRINI E ALVES, 2012; AMORIM E MONTEIRO, 2013).

Além disso, o mundo está passando por um constante aumento nos preços de tarifas, o que vem ocasionando uma busca por soluções que reduzam o consumo de energia elétrica (MELO, WESTPHAL E LAMBERTS, 2006). Além disto, esta diminuição no consumo, implicando na diminuição do custo operacional da habitação, pode representar impacto positivo, principalmente em famílias de baixa renda.

Assim, medidas de eficiência energéticas podem se mostrar válidas também do ponto de vista econômico. Desta forma, pesquisas vem mostrando ao longo dos anos como a utilização de tais medidas podem ser um bom investimento (WESTPHAL E LAMBERTS, 1999; MELO, WESTPHAL E LAMBERTS, 2006).

Com base nestes tópicos levantados, este trabalho visa analisar a eficiência energética de um projeto de casa geminada, verificando o desempenho dos sistemas da edificação e propondo melhorias para tal projeto.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a eficiência energética de uma casa geminada típica de baixa renda, localizada na região da Grande Florianópolis com base na proposta da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (CB3E, 2018) desenvolvida pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E).

1.2.2 Objetivos específicos

São objetivos específicos deste trabalho:

- Fazer tais análises do mesmo projeto variando a orientação solar do mesmo;
- Avaliar soluções para melhoria da eficiência energética da edificação de acordo com a INI-R;
- Analisar a exequibilidade de tais soluções, verificando a influência delas no custo e principalmente o payback dos investimentos realizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Déficit habitacional nacional

De acordo com Cavenaghi e Alves (2016), a qualidade de vida vivenciada por uma família está diretamente relacionada a relação desta com as condições de sua habitação.

Há anos, no Brasil, o problema de déficit habitacional vem sendo noticiado pelas grandes mídias como uma das questões mais desafiadoras a ser resolvida no decorrer de seu desenvolvimento. Além disso, a existência de tal déficit, somada a consternação verificada principalmente na parcela da população brasileira de baixa renda que vive em situações precárias, também contribuem para o desejo de solucionar tal problema.

Em se tratando da busca pela solução, um dos principais passos é entender, de maneira mais detalhada possível, como este déficit é construído. Para isto, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibiliza diversos dados coletados a partir de Pesquisas Nacionais por Amostra de Domicílios (PNAD).

Estas PNADs são utilizadas por diversos centros de pesquisa na busca de analisar a fundo diferentes problemas do país. No que diz respeito ao déficit habitacional no Brasil, a Fundação João Pinheiro (FJP), uma instituição de ensino e pesquisa ligada ao governo do Estado de Minas Gerais, produziu o relatório Déficit Habitacional no Brasil – 2015 (FJP, 2018) sobre este tema, com base na PNAD de 2015. Neste relatório o FJP apresenta os diversos parâmetros relacionados ao déficit habitacional, incluindo os critérios utilizados bem como o diagnóstico deste problema para cada região do país.

Em se tratando da questão habitacional, no Brasil, a FJP decidiu dividir os problemas em duas principais vertentes: o déficit habitacional em si e as situações de inadequações de domicílios. O déficit habitacional, foco maior deste trabalho, foi relacionado pela FJP com a construção de unidades habitacionais de modo a suprir a necessidade da população. Já o conceito de inadequação de habitações, de acordo com a FJP, é relativo a características das edificações que de alguma forma, prejudicam a qualidade de vida dos moradores. Já em se tratando do déficit habitacional, a FJP separa tal problema em dois tipos de solução: déficit por reposição de estoque e déficit por incremento de estoque. O déficit por reposição de estoque é atribuído a reconstrução e/ou reforma de habitações rústicas, como habitações em madeira aproveitada. Além disso, este tipo de déficit também engloba habitações inadequadas, que são definidas como edificações sem fins habitacionais, que necessitam de

adequações para se tornarem próprias. Já o déficit por incremento de estoque foi atribuído neste relatório a três situações: a coabitação familiar, o ônus excessivo com aluguel e o adensamento excessivo de domicílios alugados. Estas situações foram atribuídas a este tipo de déficit pois representam situações onde os moradores destas habitações podem apresentar, de alguma forma, intenção de estabelecer um novo domicílio. Desta forma, a Fundação João Pinheiro calculou um déficit habitacional nacional estimado de 6,355 milhões de domicílios. Algo que chama a atenção neste número é a massiva presença deste déficit, 87,7% do total, localizado em áreas urbanas. No que diz respeito ao sul do país, o peso do déficit em áreas urbanas é ainda maior, ultrapassando 90%. No caso de Santa Catarina, estado abordado neste trabalho, o peso das áreas urbanas chega a 93% do total do déficit habitacional.

Visando suprir o déficit habitacional, que há décadas é discutido no país, o governo federal desenvolveu o Programa Minha Casa Minha Vida (MCMV), tentando incentivar a construção de habitações focadas em famílias de baixa renda.

Criado em 2008, e instituído em 2009, o MCMV visava, além de ser a principal ferramenta federal em se tratando da questão habitacional do país, estimular o setor de construção civil de modo a gerar empregos e combater os efeitos gerados pela crise econômica internacional de 2008 (THERY, 2017).

Em se tratando de empreendimentos em zonas urbanas, foco maior deste trabalho, o programa possibilita tanto a contratação, por parte do governo, de construtoras para construções de edifícios ou complexos residenciais, quanto no subsídio de financiamentos contratados por pessoas para compra da casa própria. Estes subsídios são baseados em faixas de rendas das famílias a serem beneficiadas.

Na Tabela 1 são apresentadas as diferentes características de cada faixa de renda de acordo com os valores introduzidos pelo governo federal. A atualização dos valores foi realizada no início de 2017, a partir do uso do Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC), corrigindo os valores anteriores com uma taxa de 7,69%.

Apesar do MCMV apresentar resultados de grande impacto, muitas críticas vêm sendo realizadas ao programa e às habitações. De acordo com Adauto Cardoso, do Observatório das Metrópoles, o principal problema, com relação à primeira fase do programa MCMV, é a questão da localização dos novos empreendimentos. O pesquisador aponta que a maioria deles é realizado em áreas periféricas, em muitos casos isolados da cidade, o que implica em diversas questões relacionadas ao transporte. Outra questão apontada refere-se à tipologia e às tecnologias empregadas nas habitações entregues pelo MCMV. Muitas vezes as soluções adotadas não se adaptam à população de baixa renda, implicando em custos

condominiais altos, por exemplo. Além disso, soluções arquitetônicas são repetidas no Brasil inteiro, sem a preocupação de adaptar os projetos às necessidades regionais da população (THERY, 2017).

Tabela 1 - Características de cada faixa do programa MCMV

Faixa do PMCMV	Renda familiar mensal	Características
FAIXA 1	Até R\$ 1.800,00	Até 90% de subsídio do valor do imóvel. Pago em até 120 prestações mensais de, no máximo, R\$ 270,00, sem juros.
FAIXA 1,5	Até R\$ 2.600,00	Até R\$ 45.000,00 de subsídio, com 5% de juros ao ano.
FAIXA 2	Até R\$ 4.000,00	Até R\$ 27.500,00 de subsídio, com 6% a 7% de juros ao ano.
FAIXA 3	Até R\$ 9.000,00	8,16% de juros ao ano.

Adaptado do Ministério das Cidades (2016)

Neste contexto, de promover um melhor controle das tecnologias empregadas nos empreendimentos, com foco nas construções de interesse social, podem ser citadas as especificações técnicas para as obras relacionadas ao MCMV, além de normas como a ABNT NBR 15.575 – Desempenho de edificações habitacionais.

A NBR 15.575 (2013) é uma norma que se baseia em normas, nacionais e internacionais, já existentes de diversas disciplinas relacionadas ao tema de desempenho de edificação habitacionais. Esta norma também estabelece determinadas incumbências a cada uma das partes que interferem no processo de realização de um empreendimento. (AsBEA, 2015). Nesta norma, publicada e revisada em 2013, os requisitos e critérios a serem atendidos em uma edificação residencial são separados em 6 partes: requisitos gerais, sistemas estruturais, de pisos, de vedações verticais internas e externas, de coberturas e hidrossanitários.

Em se tratando do desempenho de edificações, pode-se destacar as questões relacionadas ao conforto do ambiente construído e, por consequência, conceitos de eficiência energética. Tais conceitos são extremamente importante tendo em vista, por exemplo, o menor consumo de energia possível, visando custos mais baixos de operação ao longo da vida útil do imóvel. Esta redução no custo de operação pode ter um impacto considerável, principalmente em famílias de baixa renda.

2.2 Consumo de energia em edificações

A necessidade de ampliação da oferta de residências demonstrada nos itens anteriores traz à tona questões relacionadas ao consumo energético de tais edificações durante sua operação. De acordo com o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE, 2050), o principal fator que causará o crescimento do consumo de energia elétrica pelo setor residencial no Brasil será o aumento no número de domicílios (EPE, 2016).

Desta forma, para tornar possível a adoção de medidas relacionadas à eficiência energética de edificações residenciais, é necessário a avaliação do cenário brasileiro de energia.

Inicialmente, um dos pontos que podem ser abordados é a matriz energética brasileira. Em se tratando deste assunto, o Ministério de Minas e Energia do Brasil, através da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), desenvolve anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN). Tal relatório tem como objetivo analisar e comparar dados sobre a produção e o consumo de energia no país ao longo dos anos, demonstrando um panorama geral sobre diversos setores. O relatório utilizado como referência neste trabalho foi o BEN de 2017, com base nos dados do ano de 2016.

O BEN, entretanto, utiliza dois conceitos diferentes de energia, cuja a devida diferenciação é necessária para a interpretação de seus dados. O relatório apresenta análises em se tratando de energia primária e energia secundária. Como definido na nova proposta de Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (CB3E, 2018), formulada pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) e que será abordada mais à frente, energia primária é a forma de energia em seu estado natural como combustíveis brutos. Ou seja, energia primária é a energia que não foi submetida a qualquer processo de transformação. Já a energia secundária é a energia derivada de tais transformações das energias primárias, resultando, por exemplo, em energia elétrica ou calor.

No que diz respeito à energia elétrica, podemos verificar através do BEN a importante participação da produção através de hidrelétricas na matriz energética. Com uma participação de 68,1% na oferta de energia elétrica no Brasil este meio de produção destaca o país no cenário global. De acordo com o BEN, a média mundial da participação de hidroelétricas na produção de energia elétrica no ano de 2014 foi de 16,4%, sendo que o carvão ainda representava na média cerca de 40,8%.

Porém, principalmente nos últimos anos, mudanças nos padrões de chuva afetaram a produção das usinas hidrelétricas seriamente. Tanto que, a partir de 2015, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) passou a adotar um sistema de bandeiras tarifárias. De acordo com a ANEEL, a cada mês o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) analisa a melhor estratégia para geração de energia. Assim, são definidas as previsões do balanço entre energia gerada por hidrelétricas e energia gerada a partir de fontes térmicas, cujo custo de operação é maior. Desta forma, neste sistema de bandeiras, cores diferentes são utilizadas para indicar se haverá aumento na tarifa de energia elétrica e de quanto será este aumento.

Tais mudanças na taxa de energia trouxeram diversas discussões a público, principalmente relacionadas à conta de luz, que para muitas famílias passou a ter um valor consideravelmente elevado. Neste cenário, muitas medidas de redução do consumo de energia em residências foram evidenciadas pela mídia à população em geral.

Esta questão do consumo também é abordada no BEN, que apresenta o consumo de energia por setor. Como este trabalho foca na eficiência energética de residências, será focado principalmente o consumo de energia no setor residencial brasileiro. Ao analisarmos o consumo de eletricidade, verificamos que o setor residencial passou a ter uma grande importância no cenário nacional. Em 2016, em torno de 25,6% da energia elétrica do país foi consumida pelas residências. Além disso, verifica-se que tal consumo vem apresentando crescimento desde 2010.

A partir de tal verificação é possível perceber o quão impactante pode ser o trabalho de eficiência energética em edificações residenciais, tendo em vista que este é o 2º setor que mais consome energia elétrica no país, ficando atrás apenas do setor industrial. Desta forma, a atuação do engenheiro de modo a reduzir o crescimento, ou até mesmo, reduzir o consumo de energia elétrica neste setor pode ser significativa para a sustentabilidade de todo o país. Entretanto, tal processo requer uma análise detalhada de como este tipo de consumo se dá no cenário residencial brasileiro.

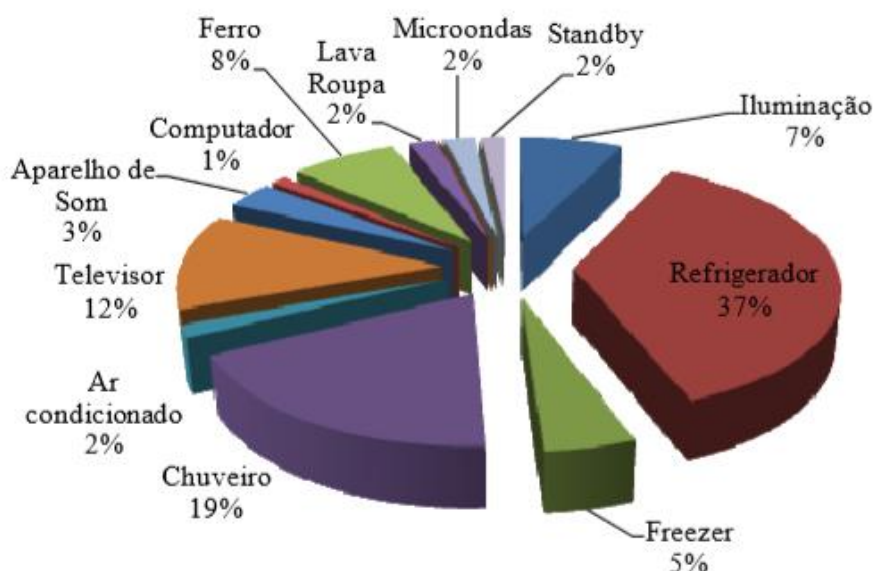
A análise da composição do consumo de energia elétrica em residências, incluindo os padrões de uso adotados pelos habitantes, é parte fundamental no processo de desenvolvimento de projetos eficientes (GHISI et al., 2009).

Assim, a análise de tais dados se mostra extremamente importante na atual conjuntura internacional, que busca cada vez mais um futuro sustentável. Além disso, estes dados podem servir como base para a construção de diversas ferramentas como, por exemplo, métodos de análises de projetos e métodos de etiquetagem. Desta forma, este trabalho

apresentará alguns dados sobre o consumo de energia elétrica em residências no Brasil, focando principalmente nos dados relacionados à região sul, mais especificamente em Florianópolis.

De acordo com Ghisi et al. (2009), na composição do consumo de energia elétrica, em residências no Brasil, os principais consumidores são o refrigerador, representando 37% do consumo, e o chuveiro, representando 19%, como demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Usos finais de energia elétrica no Brasil



Fonte: Ghisi et al. (2009)

Esta pesquisa foi realizada, em 2009, com base no resultado de questionários elaborados e cedidos pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Estes questionários tinham como objetivo determinar os padrões de uso de moradores de todo o País, determinando os usos finais a partir destes. Assim, o questionário foi respondido por 5625 moradores, distribuídos em 18 estados em 284 cidades. A partir destes dados, foram determinados os padrões de uso de cada região brasileira. Além disso, foi possível verificar as diferenças no consumo no verão e no inverno. Um exemplo disso foi a participação do chuveiro: no verão o chuveiro representa 13% do consumo e no inverno representa 24%. Atualmente o PROCEL está realizando um novo levantamento, que deve ser publicado ainda em 2018. Porém, até a data de publicação deste trabalho, essa pesquisa ainda não havia sido finalizada.

Desta forma, ao analisar os resultados da pesquisa, comprova-se que a aplicação de conceitos de eficiência energética deve se basear nos hábitos de consumo e no clima referente

à localização do empreendimento. Além disso, fica evidenciada a necessidade de se atentar a padrões de clima da região.

Em se tratando da cidade de Florianópolis, que fica na mesma região metropolitana do objeto do estudo de caso, em um estudo realizado com uma amostra de 53 moradias de baixa renda, Ghisi et al. (2014) utilizaram a aplicação de questionários e medições ao longo de duas semanas no ano de 2012 para verificar os usos finais anuais de energia elétrica em residências deste tipo na cidade de Florianópolis. Neste estudo foi verificado que, conforme a Tabela 2, o chuveiro elétrico representa entre 33,5% e 40,3% do consumo anual. Já o refrigerador representa entre 27,4% e 33,1%.

Tabela 2 - Usos finais anuais de energia elétrica em residências de baixa renda em Florianópolis

Valor	Chuveiro elétrico	Refrigerador	Televisão	Iluminação	Máquina de lavar roupas	Micro-ondas	Outros
Limite inferior	33,5%	27,4%	8,4%	4,5%	0,7%	0,4%	8,0%
Mediana	36,8%	29,9%	10,2%	5,2%	0,9%	0,6%	10,5%
Limete superior	40,3%	33,1%	12,2%	6,1%	1,1%	0,9%	13,5%

Adaptado de Ghisi et al. (2014)

Porém, tal composição dos usos finais tende a mudar no Brasil. De acordo com projeções apresentadas no PNE 2050 (EPE, 2016), a partir de 2020 os equipamentos ligados à climatização, como condicionadores de ar e aquecedores de ambiente passariam a ser os equipamentos que, em média, mais participam do consumo de energia elétrica. Como apresentado na Tabela 3, em 2050 os equipamentos de climatização passariam a representar um pouco mais de um terço do consumo médio de eletricidade em residências brasileiras.

Tal aumento da participação destes equipamentos é projetado pois, além do aumento do número de residências, haverá também aumento da média de condicionadores de ar por residência. Já a diminuição da participação do chuveiro no consumo de eletricidade se deve a troca de equipamentos elétricos pelo uso de aquecedores solares ou a gás (EPE, 2016).

Assim, pode-se perceber o quão importante é o cuidado com as envoltórias das habitações que estão sendo construídas atualmente, para que no prazo de 50 anos, valor estipulado para habitações na ABNT NBR 15.575, os gastos com climatização não sejam tão elevados. Além disso, é válido lembrar que o aquecimento de água, que de acordo com o PNE 2050 passará a ser realizado cada vez mais com fontes não elétricas, ainda será um processo

diretamente ligado ao conforto do usuário. De tal forma, o cuidado com a eficiência deste processo ainda se faz válido.

Tabela 3 - Composição média do consumo de eletricidade em habitações brasileiras

Equipamentos	Participação no consumo de eletricidade (%)			
	2020	2030	2040	2050
Climatização	25,73	29,01	32,29	35,57
Entretenimento	17,54	20,62	23,69	26,77
Cocção	1,12	1,29	1,46	1,64
Aquecimento de água	12,91	10,57	8,24	5,90
Refrigeração	23,38	21,64	19,90	18,16
Outros serviços do lar	8,56	8,89	9,23	9,56
Iluminação	10,77	7,98	5,20	2,41

Adaptado de EPE (2016)

2.3 Eficiência energética em edificações

Como mostrado anteriormente, a aplicação de medidas de eficiência energética é de extrema importância. Tal conclusão não se verifica apenas no cenário brasileiro. Na última década encontros como Rio+20 (Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Natural de 2012) e COP21 (Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015) trouxeram à tona diversos debates relacionados à sustentabilidade.

Mesmo que estes debates tenham sido relacionados principalmente às metas de cada país em uma conjuntura global, muitas vezes relacionando questões como poluição a apenas setores de transporte e indústria, fica cada vez mais evidente o quanto estas questões vem tomando maiores proporções em âmbitos científicos e políticos. Desta forma, problemas relacionados a eficiência energética de edificações também estão sendo discutidas dentro da indústria de construção civil. Porém, é válido lembrar que questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável, correlacionadas à eficiência energética de edificações, também vem sendo debatidas a décadas. Um exemplo são as normas europeias de desempenho. No final da década de 70 surgiram normas que já atribuíam requisitos mínimos às envoltórias de edificações. Em países desenvolvidos, normas de eficiência energética para edificações, tanto residenciais quanto para edificações comerciais surgiram por volta da primeira crise de petróleo nos anos 70 (FOSSATI et al., 2016).

Desta forma, podem-se destacar as normas da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE. Desenvolvida em 1894, a ASHRAE foi responsável por uma das primeiras publicações de requerimentos mínimos de desempenho de edificações em 1975. Além disso, a ASHRAE é, até hoje, adotada como referência no que diz respeito à eficiência energética, tendo suas publicações como base de diversas normas, como a própria Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (2018).

Com o passar das décadas, como verificado por Fossati et al. (2016) diversos países foram desenvolvendo suas próprias normas relacionadas a eficiência energética. Muitas vezes essas novas normas foram baseadas em normas já aplicadas em outros países e adaptadas a realidade local. No cenário atual, em boa parte dos países como França, México e África do Sul, as normas relacionadas a eficiência energética de edificações são aplicadas de maneira mandatória. Ou seja, os projetos de novas edificações são obrigados, por legislação, a seguir certos requerimentos estabelecidos em norma para que a aprovação destes projetos seja permitida. Nestes países em geral, as normas baseiam-se na avaliação de diversos sistemas, incluindo na maioria dos casos itens como, por exemplo: envoltória, sistema de aquecimento da água, iluminação, uso de energia renovável.

2.3.1 Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R)

Atualmente, no Brasil, pode-se destacar o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ) em vigência, lançado parte em 2009, referente a edificações comerciais, e parte em 2010, referente a edificações residências. Sua aplicação tornou-se obrigatória apenas para edificações construídas pelo governo federal, assim como retrofits, a partir de 2014. Assim, novas edificações governamentais são obrigadas a possuírem classificação A no que diz respeito à sua eficiência energética.

A eficiência energética das edificações residenciais é verificada pela INI-R através da avaliação do consumo de energia. Para isto, a nova proposta desenvolvida pelo CB3E utiliza o conceito de energia primária, apresentado no item referente ao consumo de energia em edificações.

A introdução deste conceito na INI-R, como explicado anteriormente, permite uma melhor diferenciação das diferentes formas de energia aplicadas durante a fase de operação de uma residência.

Além disso, é importante ressaltar que a proposta prevê uma atualização a cada 5 anos dos fatores de conversão utilizados para cada tipo de energia. Isto permite que a INI-R se adapte aos possíveis novos cenários da matriz energética nacional, absorvendo melhor estas alterações e promovendo uma melhor avaliação dos sistemas da residência.

Outro conceito introduzido na proposta da INI-R é a classificação de grupos climáticos do Brasil a partir da proposta desenvolvida por Roriz (2014). Neste método, as regiões climáticas foram divididas de acordo com 4 variáveis: Temperatura média anual, Desvio padrão da temperatura média, Amplitude média anual e Desvio padrão da amplitude. Desta forma o país foi dividido em 24 grupos climáticos, sendo o grupo climático (GCL) 1, que foi subdividido em 1-A e 1-B por diferenças climáticas significativas, o mais frio, e o GCL 24 o mais quente. Assim, como este trabalho analisará uma residência localizada na região da Grande Florianópolis, o GCL que será usado como base para a determinação de alguns dos fatores relativos ao método, será o GCL 1-B.

Nesta proposta de INI-R a residência tem sua classificação baseada em dois sistemas: a envoltória da edificação referente aos ambientes de permanência prolongadas (APPs), como salas e dormitórios, e o sistema de aquecimento da água.

O sistema de aquecimento da água, como visto no item referente ao consumo de residências no Brasil, pode ter grande impacto na eficiência energética da residência. Já a aplicação da avaliação da envoltória das APPs permite verificar, além do provável consumo dos sistemas de aquecimento e refrigeração do ambiente, o conforto proporcionado ao morador.

Além disso, nesta nova proposta a avaliação da eficiência energética da edificação pode ser realizada através de três métodos: prescritivo, simplificado e de simulação. Para os dois primeiros, existem certos limites de aplicação, sendo que caso estes limites sejam ultrapassados, ocorre a necessidade de se utilizar o método seguinte.

O método prescritivo permite apenas a classificação da edificação em classe A. Este método consiste em um checklist com características envolvendo tanto a envoltória da edificação como o seu sistema de aquecimento de água. Caso todos os itens deste checklist sejam verificados, a edificação recebe uma Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) de classe A. Porém, caso um ou mais itens não sejam atendidos, é necessário avaliar a edificação através do método simplificado ou do método de simulação.

O método simplificado, foco deste trabalho, consiste na comparação entre a edificação a ser avaliada e uma edificação com parâmetros de referência. Com base nestes dois casos é calculado o percentual de redução do consumo de energia primária. Assim, quanto maior a redução do consumo, mais eficiente é a edificação e melhor será a sua classificação. O método simplificado faz uso de um metamodelo em redes neurais, baseado nos resultados de diversas simulações feitas com edificações de tipologias comuns, com dados climáticos de todo o Brasil. Desta forma, este metamodelo consegue estimar, com uma pequena margem de erro, a carga térmica a ser utilizada durante o ano inteiro, tanto para resfriamento, quanto para aquecimento nas regiões onde isto se faz necessário. Além disto, o metamodelo também estima o percentual de horas no ano ocupadas em conforto térmico quando a edificação é apenas ventilada naturalmente. Tal variável não é utilizada na avaliação em si, mas é apresentada como informação adicional na ENCE. Já em se tratando do sistema do sistema de aquecimento da água, o princípio de classificação a partir da redução do consumo de energia, da edificação real em relação a edificação de referência, também é empregado. Primeiramente são desenvolvidas estimativas de gastos de energia, tanto elétrica quanto térmica, com o sistema de aquecimento de água da edificação a ser avaliada, incluindo eventuais sistemas de recirculação e armazenamento. Depois esta estimativa é comparada com uma estimativa feita para um sistema de referência. Assim, da mesma forma como o caso da envoltória, quanto maior a redução do gasto de energia entre o sistema real e a referência, mais bem avaliado é o sistema a ser empregado.

Por último, caso a edificação a ser avaliada não esteja dentro dos limites impostos pelo método simplificado, passa a ser utilizado o método da simulação. Este método diz respeito apenas a classificação da envoltória da edificação, através do uso de programas computacionais de programas de simulação termo-energética. O sistema de aquecimento de água é avaliado através da mesma metodologia empregada no método simplificado. Desta forma, a INI-R apresentada todas as variáveis que devem ser envolvidas na simulação para que esta possa ser válida para a classificação. Porém, a ideia principal é a mesma do método simplificado, verificar qual o percentual de redução do consumo de energia entre a edificação real e a edificação com parâmetros de referência.

Desta forma, a INI-R pode ser adotada como base para medir a eficiência energética de um empreendimento desde sua fase de projeto. Isso possibilita aos projetistas verificar quais são as melhores tecnologias, por exemplo, para serem empregadas em sua construção.

Um exemplo do uso de instruções normativas, neste caso o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), no desenvolvimento de edificações eficientes, pode ser verificado no trabalho de Indiviata et al. (2016). Neste estudo, uma habitação unifamiliar de interesse social foi avaliada através do método de simulação proposto pelo RTQ-R, onde diversas combinações de componentes da envoltória foram analisadas como variações nos materiais da cobertura e parede, na absorvância térmica, nos tipos de vidro, sombreamento das aberturas. Estas análises foram realizadas para cidades em diferentes zonas climáticas: Curitiba, Florianópolis e Salvador. Assim, verificou-se quais as composições mais eficientes para cada cidade, através dos critérios adotados no RTQ-R, que atingiram a classificação A. Desta forma, comparando os resultados das diversas combinações, foi possível conseguir, por exemplo, uma redução de cerca de 57% no consumo de energia para aquecimento em Curitiba e uma redução de mais de 89% no indicador de graus-hora para resfriamento em Florianópolis.

Outro exemplo similar pode ser verificado no trabalho de Lima, Pedrini e Alves (2012). Neste estudo de caso, foram avaliadas medidas de eficiência energética, relacionadas à envoltória, para o projeto padrão do Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH), desenvolvido na cidade de Parnamirim, no estado do Rio Grande do Norte. Neste trabalho também foi utilizado o método de simulação do RTQ-R para avaliação do caso base e do impacto das medidas propostas. Desta forma, destacou-se principalmente a proposta de alteração na absorvância da cobertura, de 0,70 para 0,20. Com esta medida foi possível uma redução de mais de 50% no resultado ponderado para unidade habitacional dos graus-hora de resfriamento (GHR). Assim, foi possível obter uma classificação final B, sendo que o caso base obteve classe E.

Em se tratando de absorvância, também pode-se citar o estudo de caso desenvolvido por Amorim e Monteiro (2013). Em uma das etapas deste trabalho, com o uso de equipamentos como termômetro infravermelho e câmera termográfica, foram verificadas as temperaturas superficiais de revestimentos cerâmicos de edifícios multifamiliares na cidade de João Pessoa. Em uma das edificações verificadas, a diferença de temperatura superficial entre um revestimento com coloração branca e outro com cor azul escura, em uma mesma fachada no mesmo horário de medição, chegou a mais de 12°C. Entretanto, como apontado pelos autores, a absorvância da envoltória pode ter grande impacto no conforto térmico e por consequência na eficiência energética do edifício, dependendo, evidentemente, de outros fatores como transmitância e capacidade térmica.

Outro exemplo que pode ser citado em se tratando de eficiência energética, especialmente em edifícios de baixa renda, é o trabalho de Eli (2017). Neste estudo de caso foi utilizado o método de simulação da proposta do novo regulamento brasileiro de etiquetagem residencial para verificar o impacto da adoção de diversas medidas de eficiência para envoltória. Estas propostas envolviam a mudança nas composições da cobertura, paredes externas e esquadrias. Além disto, estas propostas também foram combinadas em diversos pacotes, de modo a determinar qual destes iria trazer o melhor custo benefício. Estas avaliações também foram feitas para cidades em grupos climáticos distintos: Florianópolis e Salvador. Assim, analisando a viabilidade econômica da aplicação dos pacotes de medidas e aplicando o pacote com melhor custo-benefício, foi possível obter classificação final A em São Paulo e B em Salvador, sendo que, para o caso base, a edificação obteve classe C em São Paulo e classe E em Salvador.

Desta forma, podemos ver como a aplicação de medidas de eficiência energética, principalmente relacionadas a envoltória, pode influenciar não apenas o conforto térmico dos usuários, mas como o consumo de energia da edificação, trazendo também neste caso benefícios financeiros.

2.4 Payback

Como visto nos itens anteriores, a aplicação de medidas de eficiência energética pode trazer diversos benefícios financeiros aos usuários de edifícios eficientes. Porém, é válido lembrar que, principalmente em se tratando de habitações de interesse social, a viabilidade econômica de tais medidas é importantíssima na avaliação de sua aplicabilidade.

Uma forma comum de checar a viabilidade financeira é através do conceito de payback, ou tempo de retorno. Este conceito pode ser definido como o tempo necessário para que as receitas de um investimento ou, no caso de medidas de eficiência energética, as economias trazidas por ele superem os gastos necessários para sua aplicação. Normalmente o payback é aplicado de duas formas: o payback simples e o corrigido, sendo que neste último são levados em conta taxas de juros e, eventualmente, os custos de manutenção do investimento.

Uma forma comum do uso do payback no âmbito de eficiência energética é a avaliação de exequibilidade de retrofits (processos de reforma ou readequações de sistemas prediais).

Um exemplo de avaliação de viabilidade econômica de um retrofit é apresentado por Westphal e Lamberts (1999). Neste estudo de caso, foi proposto um retrofit dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, juntamente com a aplicação de um sistema de automação, no edifício sede da Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina (FIESC), construído em 1983. Para a verificação da viabilidade das reformas propostas foi considerado o gasto de implementação dos novos sistemas, desprezando os gastos com a troca de equipamentos, que já estavam no fim de sua vida útil e seriam trocados independentemente do retrofit. Considerou-se a economia com as contas de energia e uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 6% a.a., relativa à aplicação dos recursos despendidos em fundos de renda fixa, como uma poupança. Desta forma, foi verificado que o payback corrigido do retrofit ocorreria entre 52 e 53 meses, e que a taxa interna de retorno (TIR) seria de 28,16% a.a., sendo superior a TMA e portanto, indicando que o investimento é viável.

Outro exemplo podemos citar um estudo de caso realizado por Melo, Westphal e Lamberts (2006) para avaliação de estratégias de redução de consumo de um hotel localizado em Florianópolis. Para isto, foi desenvolvido um modelo em simulação para verificar o desempenho do hotel, e este foi calibrado a partir de dados coletados com aparelhos medidores de consumo instalados nas instalações elétricas do edifício. Como o modelo devidamente calibrado, partiu-se para a simulação das propostas de retrofit: troca do número e potência de lâmpadas, troca dos aparelhos de condicionamento de ar do tipo janela e splits por um sistema central, compra de um gerador a diesel para atuação em horário de ponta junto à alteração do contrato tarifário e a instalação de coletores solares acoplados à caldeira. Para a verificação da exequibilidade destas propostas de retrofit foram estimados, para cada uma das propostas, o valor economizado na conta de luz e o valor despendido para execução do retrofit. Assim, para verificar a aplicabilidade destas reformas foi adotado uma TMA de 12% a.a., além da vida útil dos sistemas instalados. Desta forma, verificou-se que a única alternativa viável economicamente foi o retrofit do sistema de iluminação, cujo custo de execução seria de R\$8.176,00 e a redução no custo da energia elétrica anual seria de R\$9410,00. Como estes valores, TIR seria de 115% a.a., sendo consideravelmente superior a TMA, e o payback corrigido seria de apenas um ano.

Desta forma, verifica-se a importância da análise de viabilidade financeira de medidas de eficiência energética. Tais análises possibilitam evidenciar de maneira mais concreta os benefícios financeiros de construções eficientes, além de poderem atuar como mais uma ferramenta na tomada de decisões entre medidas de eficiência energética diferentes.

2.5 Considerações finais

Como visto ao longo desta revisão, a aplicação de medidas de eficiência energética em edificações pode ter grande impacto no desenvolvimento sustentável de uma sociedade. Além disso, sua aplicação, principalmente em residências, pode proporcionar conforto e qualidade de vida aos seus moradores.

Uma das ferramentas que podem ser utilizadas por profissionais da construção civil, para guia-los no processo de otimização de edificações no que diz respeito ao seu consumo energético, são as normas de desempenho. Tais normas possibilitam uma associação entre a concepção do projeto e as expectativas relacionadas à sua eficiência durante a fase de operação da edificação.

Outro ponto importante levantado durante a revisão foi a necessidade de localização dos parâmetros a serem utilizados para a execução de um projeto com um bom desempenho. Cada localidade apresenta certos padrões de uso e, principalmente, determinadas características climáticas que devem ser levadas em conta na avaliação de eficiência energética de edificações e seus sistemas.

Além disso, verifica-se que a demonstração dos benefícios financeiros de estratégias de construção eficiente pode ser realizada com o uso de ferramentas como o Payback e a TIR. Deste modo, os benefícios passam a ser analisados de maneira mais concreta e podem ser melhor avaliados tanto pelos projetistas quanto pelos investidores e/ou usuários.

3 MÉTODO

O primeiro momento do desenvolvimento deste trabalho será dedicado à seleção e análise dos parâmetros referentes a edificação a ser avaliada, como os materiais construtivos, a serem adotados nas análises.

A partir deste ponto, como descrito nos objetivos específicos, será realizada a análise de eficiência energética do sistema de envoltória da edificação, para variadas orientações solares, assim como do sistema de aquecimento de água. Tal procedimento será baseado na nova proposta de INI-R do CB3E.

3.1 Caso de estudo

O caso escolhido para este trabalho trata-se de uma casa geminada típica de baixa renda. As unidades habitacionais são compostas de sala e cozinha conjugada, dois quartos, um banheiro e uma área de serviço coberta.

O projeto desta edificação foi desenvolvido para ser executado em um terreno consideravelmente plano, de 10 m por 20 m, em um loteamento recém construído, no município de Palhoça, no estado de Santa Catarina. A planta baixa das unidades habitacionais pode ser visualizada na Figura 2. O projeto da edificação pode ser visualizado no Anexo A.

Com a definição do projeto a ser avaliado partiu-se para a avaliação dos sistemas de envoltória e de aquecimento de água, conforme a INI-R.

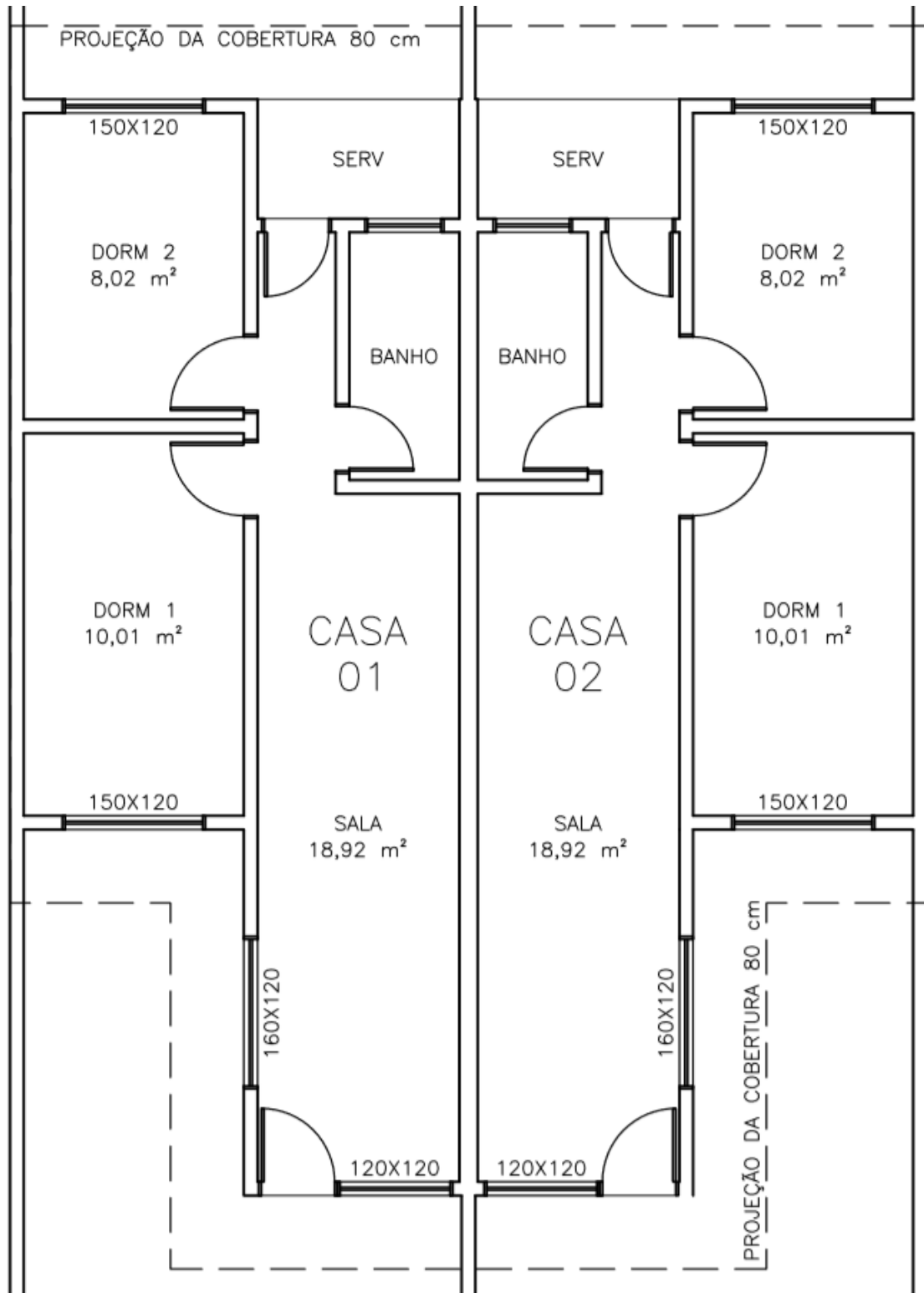
3.1.1 Envoltória

A partir do projeto foram obtidos os dados a serem utilizados no método de avaliação de eficiência energética. Primeiramente, foram obtidos os dados gerais da edificação, apresentados na Tabela 4. Estes dados fazem parte dos dados que serão inseridos no metamodelo do método de avaliação da INI-R, cujo resultado serão a carga térmica anual de resfriamento, aquecimento e o percentual anual de permanência em conforto.

O item nomeado fator de altura das aberturas é um coeficiente que corresponde ao quociente da altura do vão das aberturas pelo pé direito. Já o item fator de abertura para ventilação diz respeito a porcentagem do vão que a esquadria permite ventilação quando aberta. Como no projeto os ambientes de permanência prolongada (APPs) possuem apenas

janelas de correr, de duas ou quatro folhas, este fator corresponde a 0,50. Ou seja, quando abertas estas janelas, 50% do vão pode ser utilizado para ventilação.

Figura 2 - Planta baixa do caso base



Adaptado de Eng. Bruno César M. Pereira

Tabela 4 - Dados gerais da edificação

Dados gerais		
Pé direito (m)		2,8
Altura das aberturas (m)		1,2
Fator de altura das aberturas		0,43
Fator de abertura para ventilação		0,50
Área dos APPs (m ²)	Sala	18,92
	Dorm 1	10,01
	Dorm 2	8,02
Altura do pavimento		0 m (Térreo)
Tipo de piso da edificação		Cerâmico
Projeção (m)		0,80
Venezianas nas APPs		Não

Outro item que cabe certa explicação é o referente as áreas dos APPS. No que diz respeito a área da sala, foi somado a ela a área da cozinha e da circulação, já que estes ambientes são todos conjugados. Além disso, o tipo de piso da edificação, que no caso é cerâmico, indica no metamodelo que o pavimento possui alta inércia térmica, em oposição a pisos de madeira, por exemplo, que possuem baixa inércia térmica.

Em seguida foram definidas as propriedades térmicas dos componentes da edificação de referência e da edificação real, apresentados respectivamente nas Tabelas 5 e 6. No que diz respeito a edificação utilizada como referência no método, todos os dados foram obtidos da INI-R, em conformidade com o grupo climático no qual a edificação foi construída, no caso 1-B.

Na Tabela 5, de acordo com a INI-R, capacidade térmica média corresponde a valores entre 50 e 200 kJ/m².K. Já uma capacitância térmica leve corresponde a valores menores que 50 kJ/m².K. Valores acima de 200 kJ/m².K correspondem a uma capacitância térmica pesada.

Já para os dados da edificação real, apresentados na Tabela 6, foi utilizado o Anexo V dos Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações (RAC). Este anexo é composto por uma série de composições de elementos de envoltória, apresentados com suas devidas transmitâncias e capacidades térmicas.

Em se tratando da composição da parede adotada para a edificação real, foi escolhido a composição de número 9 do Anexo V do RAC, composta por blocos cerâmicos de 9 cm x 14 cm x 24 cm com argamassa interna e externa de 2,5 cm, com transmitância de 2,46 W/(m²K) e capacidade térmica de 150 kJ/m²K. Já para a cobertura da edificação foi adotada a

composição de cobertura de número 5. Tal composição conta com uma laje pré-moldada mista com 4 cm de concreto, 7 cm de lajota cerâmica e 1 cm de argamassa, além de uma câmara de ar de no mínimo 5 cm e do uso de telhas cerâmicas, com transmitância de 1,79 W/(m²K) e capacidade térmica de 185 kJ/m²K.

Tabela 5 - Variáveis de desempenho térmico adotados para edificação de referência

Edificação Referência			
Componente	Variável	Valor adotado	Unidade
Parede Externa	Capacidade térmica	Média	
	Transmitância	3,65	W/(m ² K)
	Absortância	0,6	
Cobertura	Capacidade térmica	Leve	
	Transmitância	2,02	W/(m ² K)
	Absortância	0,6	
Vidros	Transmitância	5,7	W/(m ² K)
	Fator solar	0,87	

Tabela 6 - Variáveis de desempenho térmico adotados para edificação real

Edificação Real			
Componente	Variável	Valor adotado	Unidade
Parede Externa	Capacidade térmica	150	kJ/m ² K
	Transmitância	2,46	W/(m ² K)
	Absortância	0,393	
Cobertura	Capacidade térmica	185	kJ/m ² K
	Transmitância	1,79	W/(m ² K)
	Absortância	0,418	
Vidros	Transmitância	5,7	W/(m ² K)
	Fator solar	0,87	

No que diz respeito aos valores de absortância adotados, foram considerados o uso de tons pasteis, como apresentados na Figura 3, referente à edificação adotada para a avaliação deste trabalho. Desta forma, para a cobertura foi adotado o valor de 0,418 para absortância, referente a cor mel, número 56, do Anexo V do RAC.

Como a pintura na fachada apresenta faixas de cores diferentes, se faz necessário, por determinação da INI-R, o cálculo de absortância através da determinação da absortância média. Os valores adotados para este cálculo são apresentados na Tabela 7, onde o número indicado entre parênteses depois do nome da cor, representa o número da cor adotada no Anexo V do RAC.

Já para as variáveis de desempenho térmico referentes aos vidros, foi considerado que os vidros da edificação real apresentam as mesmas características dos vidros utilizados como referência na INI-R, sendo sua transmitância igual a $5,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e o fator solar igual a 0,87.

Figura 3 - Foto de uma construção feita a partir do projeto avaliado neste trabalho



Fonte: Leandro Imóveis

Tabela 7 - Cálculo da absorptância média das paredes externas

Absortância das paredes - Edificação Real		
Faixa	Altura (cm)	Absortância
Camurça (52)	42	55,8
Branco (51)	10	29,7
Palha (13)	228	36,7
Absotância média adotada		39,3

No que diz respeito a área de vidro na fachada, os valores da edificação real, apresentados na Tabela 8, foram obtidos diretamente do projeto. Já os valores de área de vidro na edificação de referência, apresentados na Tabela 9, foram calculados a partir dos valores mínimos das áreas das aberturas em relação as áreas dos APPs, referentes ao GCL 1-B. Neste caso, para os valores referentes as aberturas da sala, o percentual referente a área do piso de cada uma das aberturas foi realizado em proporção aos valores da edificação real.

Tabela 8 - Áreas de vidro na fachada dos APPs da edificação real

Área de Vidro - Edificação Real		
APP	Área de Vidro	% Área APP
Sala	1,44	7,61
	1,92	10,15
Dorm 1	1,80	17,98
Dorm 2	1,80	22,44

Tabela 9 - Áreas de vidro na fachada dos APPs da edificação de referência

Área de Vidro - Edificação Referência		
APP	Área de Vidro	% Área APP
Sala	1,14	6,00
	1,51	8,00
Dorm 1	1,40	14,00
Dorm 2	1,12	14,00

Com estes valores verificou-se, como mostrado na Tabela 10, que o caso base se enquadra nos limites do método simplificado. Em se tratando dos valores relacionados as variáveis de comportamento térmico do piso, as mesmas não foram utilizadas pois, como a edificação é térrea, o piso está em contato com o solo. Desta forma, estes dados não são utilizados no metamodelo, que apenas necessita a indicação da inércia do piso utilizado, disponibilizando duas opções: alta para piso cerâmico e baixa para pisos de madeira.

Desta forma, partiu-se para o cálculo das áreas das fachadas e dos percentuais de vidro delas. Neste momento, foi levado em consideração o objetivo de analisar o projeto das casas geminadas em orientações solares diferentes.

Assim, foi considerado o projeto com 4 orientações solares diferentes, atribuindo orientações diferentes aos fundos do projeto. A envoltória foi analisada de 4 formas diferentes: com os fundos voltados para o norte, fundos voltados para o leste, fundos voltados para o sul e fundos voltados para oeste, conforme mostrado na Figura 4.

Desta maneira, os valores apresentados anteriormente foram atribuídos a cada um destes cenários, formando diferentes áreas de fachada, que são consideradas as mesmas tanto para a edificação real quanto para edificação de referência, e vidros, com valores diferentes para edificação real e de referência.

Tabela 10 - Limites do método simplificado

Parâmetro	Unidade	Limite Mínimo do método	Condições dos APPs da edificação real analisada			Limite Máximo do método
			Sala	Dorm 1	Dorm 2	
Absortância solar da cobertura	-	0,3	0,418			0,8
Absortância solar das paredes externas	-	0,3	0,393			0,8
Altura do pavimento em relação ao solo	m	0	0			50
Área de fachada	m ²	0	17,75	7,14	10,78	150
Área do ambiente	m ²	6	18,92	10,01	8,02	300
Capacidade térmica da cobertura	kJ/m ² K	20	185			250
Capacidade térmica das paredes externas	kJ/m ² K	30	150			290
Capacidade térmica do piso	kJ/m ² K	50	-			200
Fachadas expostas a ambientes externos	unid	1	2	1	2	2 (dormitório) e 3 (sala)
Fator de abertura para ventilação	-	0,5	0,5			1
Fator solar do vidro	-	0,22	0,87			0,87
Pé-direito	m	2,5	2,8			5
Proporção de área de fachada em relação à área de piso (por orientação de fachada e por ambiente)	-	0	0,9381607	0,7132867	1,3441397	1,5
Fator de vidro na fachada	-	0,1	0,22	0,25	0,25	0,9
Sombreamento das aberturas	-	Sem veneziana	Sem veneziana			Com veneziana
Tamanho da projeção horizontal da sacada ou marquise	m	0	0,8			2
Transmitância térmica da cobertura	W/(m ² K)	0,50	1,79			3,50
Transmitância térmica das paredes externas	W/(m ² K)	0,50	2,46			3,65
Transmitância térmica do piso	W/(m ² K)	2,00	-			3,00
Transmitância térmica do vidro	W/(m ² K)	2,80	5,7			5,70

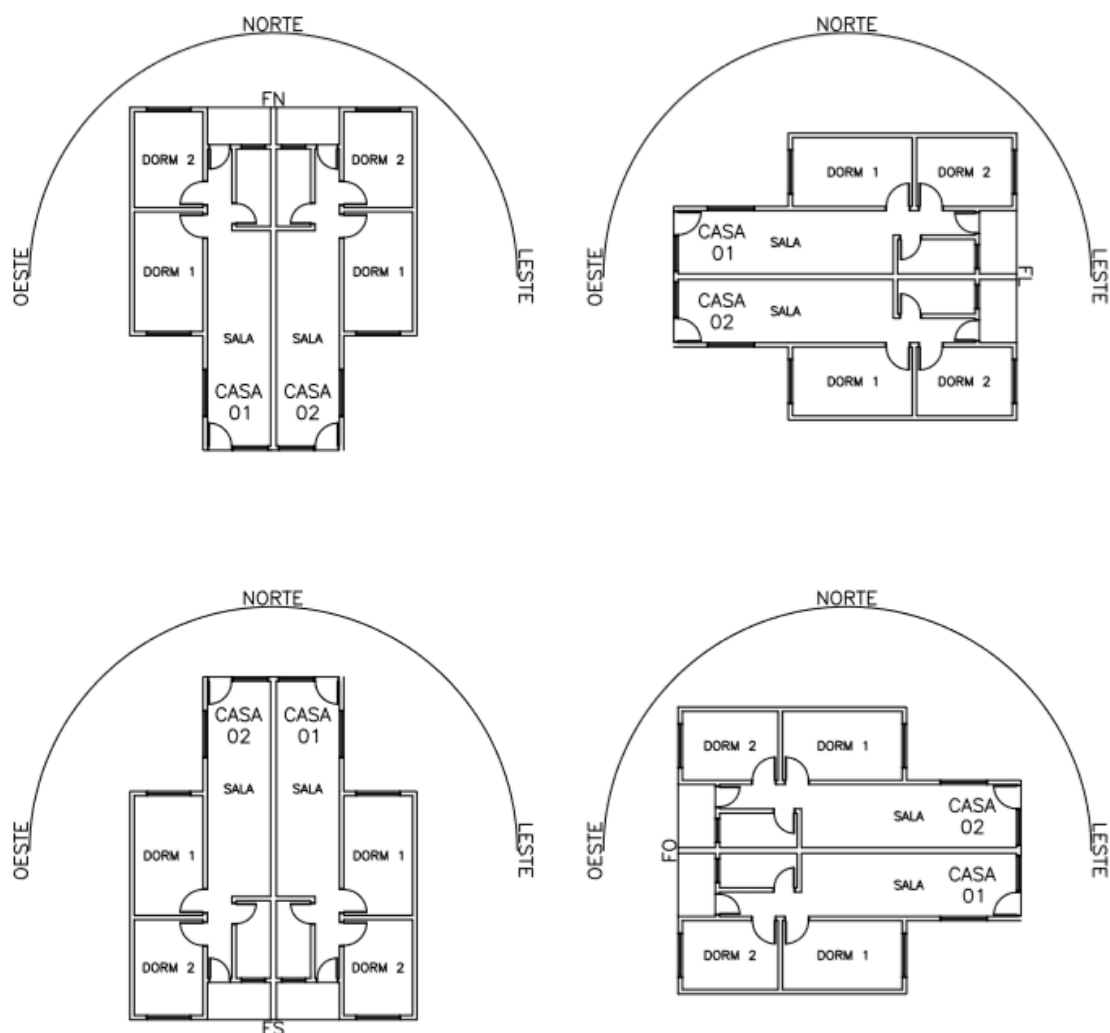
Estes valores foram organizados em tabelas conforme as orientações e são apresentados no Apêndice A deste trabalho. Nestas tabelas, foram adotadas nomenclaturas das casas nas diferentes condições, onde, por exemplo, a sigla FN indica que os valores são referentes a condição onde os fundos das unidades habitacionais são voltados para o norte.

É importante frisar que, especialmente no caso de casas geminadas, foi considerado que as paredes dos ambientes que ficam na divisa do terreno não foram consideradas expostas, já que provavelmente outras casas geminadas também irão fazer divisa com a casa analisada. Assim, nas planilhas apresentadas no apêndice deste trabalho, as paredes externas de APPs que ficam na divisa do terreno foram consideradas com área de fachada igual a zero.

Deste modo, com os valores calculados tanto para edificação real como para a edificação de referência, partiu-se para a utilização do metamodelo disponibilizado pelo CB3E para a proposta da INI-R. É válido lembrar que foram seguidas as orientações da INI-R, principalmente no que diz respeito a edificação de referência, levando em conta que esta,

por exemplo, não possui venezianas nas aberturas dos APPs e nem possui nem um tipo de beiral ou projeção.

Figura 4 - Orientações usadas nas análises, respectivamente FN, FL, FS e FO



Posteriormente, os resultados obtidos pelo metamodelo foram aplicados em uma planilha de cálculo, disponibilizada pelo CB3E. Esta planilha tem o objetivo de auxiliar no cálculo dos percentuais de redução no consumo, que serão utilizados na classificação da residência. Quaisquer observações referentes aos dados obtidos e a posterior classificação da unidade habitacional (UH) será realizada no capítulo de resultados.

3.1.2 Aquecimento de água

No que diz respeito ao sistema de aquecimento de água, o projeto prevê o uso de chuveiros elétricos. Desta forma, com base nos dados presentes na INI-R, que considera o uso de chuveiro elétrico como valor de referência para avaliação, foram calculados os dados apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Dados referentes ao aquecimento de água

Aquecimento de água - Chuveiro elétrico			
EAA _t (kWh/ano)	3009,89	EAA (kWh/dia)	4,90
f _{ce}	1,6	V _{dia} (m ³)	0,20
CAA _e (kWh/ano)	1881,18	t _{uso} (°C)	40,0
ra _q (%)	0,95	t _{fria} (°C)	18,9

Assim como na envoltória, estes valores foram aplicados na planilha de classificação disponibilizada pelo CB3E. As observações referentes aos valores obtidos e a discussão referente a eficiência do sistema serão apresentados no capítulo de resultados.

3.2 Medidas de eficiência energética

Para a melhoria da eficiência energética das habitações serão propostas as estratégias descritas a seguir. Porém, é válido ressaltar que, tais propostas serão avaliadas para 4 orientações solares diferentes, como descrito no caso base, verificando seu impacto para cada uma delas.

Como propostas de medidas de eficiência energética serão propostas duas alterações no caso base: alteração da composição e absorvância do sistema da cobertura e mudança do tipo de vidro utilizado nas janelas, com o uso em conjunto de venezianas embutidas. A cobertura foi escolhida como um dos sistemas a serem alterados pela grande área que esta representa em casas geminadas. Já as janelas foram escolhidas por possuírem uma alta transmitância térmica, tendo grande impacto na eficiência térmica dos ambientes.

No que diz respeito à proposta de cobertura, será utilizada a proposta empregada no projeto da Casa Eficiente da Eletrosul de Florianópolis (LAMBERTS et al., 2010). A cobertura proposta possui telha cerâmica, isolamento reflexivo e lã de rocha e laje de concreto, tendo transmitância de 0,58 W/(m²K) e capacidade térmica de 54,7 kJ/m²K. Neste caso, apesar do caso base possuir uma laje pré-moldada, serão utilizados estes valores por simplificação, mesmo que a laje pré-moldada tem uma melhor eficiência. Além disso, será

proposta também a mudança da absorvência das telhas, passando a utilizar um valor de 0,272 referente a pintura acrílica fosca de cor palha, número 57, do anexo V do RAC.

Já em se tratando das janelas, será proposto o uso vidros insulados com transmitância térmica de $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ e fator solar de 0,50 nos APPs. Além disso, as esquadrias propostas também possuirão venezianas embutidas. Além disso, também será proposto um sistema mais eficiente de aquecimento de água, utilizando um coletor solar e atendendo aos requisitos impostos pela INI-R, e um sistema de aquecimento a gás.

Estas propostas foram escolhidas para este estudo de caso justamente por serem reconhecidas como medidas extremamente eficientes para diversos projetos. Desta forma, a avaliação destas medidas em um projeto de habitação de interesse social pode ser interessante, principalmente em se tratando da viabilidade financeira.

3.3 Payback

Para o cálculo da viabilidade econômica das propostas, foi considerado o custo dos sistemas que foram utilizados, disponibilizados na forma de um documento de controle de fluxo de caixa, e o custo incremental para a adoção das medidas de eficiência energética.

Em se tratando do payback, este foi avaliado com base, principalmente, na vida útil dos sistemas, tomando como base a cobertura. Conforme a NBR 15.575 a vida útil do sistema de cobertura é de 20 anos, mas como sua eficiência depende de materiais que podem ser deteriorados, devendo ser substituídos, o prazo máximo para o payback será considerado 10 anos.

Para determinação do valor de economia gerada a partir da aplicação das soluções propostas, foi determinado o gasto com a conta de eletricidade. Para isto, será considerada a tarifa de R\$ 0,52049 por kWh, determinada pela Celesc para o subgrupo B1, referente a residências normais, homologada em agosto de 2018. Já no que diz respeito aos tributos foi considerado o ICMS de 12% para consumo dos primeiros 150 kWh e de 25% para o subsequente consumo. Além disso, foram consideradas as alíquotas PIS e COFINS, referentes a setembro de 2018, sendo respectivamente 0,41% e 1,94%. Já a determinação do consumo de energia elétrica para cada uma das propostas foi realizada através da planilha de cálculo disponibilizada pelo do CB3E.

Já para a determinação dos custos, os custos dos insumos foram determinados a partir do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI),

referentes ao mês de setembro e considerando valores não desonerados. Caso os insumos não estivessem no SINAPI, os custos foram pesquisados em sites de lojas de construção civil da região. Já as quantidades utilizadas serão determinadas pelo projeto.

Os gastos relativos à aplicação das medidas de eficiência energética, utilizados para análise de viabilidade econômica das propostas, são incrementais, além de serem divididos para cada unidade habitacional. Ou seja, foram analisados os valores despendidos além dos valores que foram utilizados para a construção da residência. Em se tratando do custo de mão de obra, o mesmo não foi calculado devido à dificuldade de se estabelecer durações de serviços sem o devido detalhamento das propostas feitas.

Além da determinação do Payback, também será avaliada TIR dos investimentos, levando em conta uma TMA de 12%, utilizada por Melo, Westphal e Lamberts (2006) na avaliação da proposta de um retrofit de um hotel em Florianópolis, apresentado no item referente ao Payback no capítulo de revisão bibliográfica. Para isto, também será considerado o prazo de 10 anos, utilizado como base para aceitação do payback.

4 RESULTADOS

4.1 Caso base

No que diz respeito à envoltória do caso base, esta foi classificada como nível A, para todas as orientações analisadas. Isto ocorre, como apresentado na Tabela 12, pois as edificações reais obtiveram uma redução média por unidade habitacional de 73% da carga térmica de refrigeração (%RedCgTRUh), embora a redução da carga térmica de aquecimento (%RedCgTAUh) tenha sido nula.

Tabela 12 - Desempenho da envoltória do caso base

Identificação da UH	CgTRuhref (kWh/ano)	CgTAuhref (kWh/ano)	CgTRuhreal (kWh/ano)	CgTAuhreal (kWh/ano)	%RedCgTR Uh	%RedCgTA Uh
CB_FN_Casa1	4919,4305	36,95	1286,0934	36,95	73,86	0,00
CB_FN_Casa2	4910,7087	36,95	1299,469	36,95	73,54	0,00
CB_FL_Casa1	5073,6303	36,95	1365,441	36,95	73,09	0,00
CB_FL_Casa2	5031,1569	36,95	1314,3282	36,95	73,88	0,00
CB_FS_Casa1	4956,8054	36,95	1365,8446	36,95	72,45	0,00
CB_FS_Casa2	4960,608	36,95	1349,8202	36,95	72,79	0,00
CB_FO_Casa1	5026,9787	36,95	1327,4848	36,95	73,59	0,00
CB_FO_Casa2	5073,7749	36,95	1380,0022	36,95	72,80	0,00

Um dos destaques que podem ser feitos em relação aos resultados, são os altos percentuais de horas ocupadas em conforto térmico (PHOCT), estimados pelo metamodelo, considerando apenas o uso de ventilação natural. O caso base da edificação obteve valores entre 75% e 76%, independente da orientação adotada.

Outro fato que chama a atenção é a pequena variação das cargas térmicas em relação as diferentes orientações das edificações. Neste caso, a diferença entre o maior valor de carga térmica de resfriamento obtida, para a orientação FO, e a menor, para orientação FN, é de apenas cerca de 6,8%.

Tal comportamento, assim como o bom desempenho da envoltória em geral, pode ter relação com a área relativamente pequena de fachada das unidades habitacionais. Desta forma, como as fachadas laterais da edificação não foram consideradas expostas, as áreas de paredes podem passar a ter uma representatividade menor em relação a envoltória como um todo.

Já em se tratando do sistema de aquecimento de água, como no caso base são usados chuveiros elétricos, o mesmo sistema adotado como referência no método simplificado, não houve uma redução no consumo de energia. Isso implica que o sistema de aquecimento da água da edificação foi classificado como classe D.

Desta forma, com a determinação do desempenho do sistema de envoltória e do sistema de aquecimento de água, foi possível realizar a classificação das unidades habitacionais para todas as orientações. Como verificado na Tabela 13, todas as unidades habitacionais foram classificadas com classe C, tendo uma redução percentual no consumo de energia de cerca de 23% em relação a edificação de referência do método. Assim, é possível inferir que mesmo com envoltórias eficientes se faz necessário o uso de um sistema de água que também seja eficiente, pois caso a eficiência destas instalações não sejam levadas em conta, o consumo energético da edificação pode ainda ser elevado.

Tabela 13 - Classificação final do caso base

Identificação da UH	% REDUÇÃO ENERGIA PRIMÁRIA	CLASSE
CB_FN_Casa1	23,50	C
CB_FN_Casa2	23,37	C
CB_FL_Casa1	23,74	C
CB_FL_Casa2	23,86	C
CB_FS_Casa1	23,17	C
CB_FS_Casa2	23,29	C
CB_FO_Casa1	23,76	C
CB_FO_Casa2	23,65	C

4.2 Medidas de eficiência energética

Em se tratando das medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória, na Tabela 14 é apresentado um resumo geral dos desempenhos obtidos. Para resumir as soluções propostas, foram adotadas as seguintes identificações:

- MEE1: Mudanças na cobertura;
- MEE2: Mudanças nas esquadrias das janelas;
- MEE3: Uso, em conjunto, das MEEs anteriores.

Uma das primeiras observações que podem ser feitas a partir da Tabela 14 é a constatação de que as diferentes orientações solares passaram a representar variações maiores nas cargas térmicas. Para MEE1 essa variação de carga térmica de resfriamento entre

orientações foi de 8,98%. Neste caso, assim como no caso base, a orientação FN obteve a menor carga térmica de resfriamento, e a FO a menor.

Tabela 14 - Desempenho das soluções propostas para o sistema de envoltória

Identificação da UH	CgTRuhreal (kWh/ano)	Média CgTRuhreal (kWh/ano)	CgTAuhreal (kWh/ano)	Média CgTAuhreal (kWh/ano)	Classe	PHOCt	Média PHOCt
CB_FN_Casa1	1286,0934	1336,06	36,95	36,95	A	75,42%	75,86%
CB_FN_Casa2	1299,469		36,95		A	75,42%	
CB_FL_Casa1	1365,441		36,95		A	76,44%	
CB_FL_Casa2	1314,3282		36,95		A	75,93%	
CB_FS_Casa1	1365,8446		36,95		A	75,93%	
CB_FS_Casa2	1349,8202		36,95		A	75,93%	
CB_FO_Casa1	1327,4848		36,95		A	75,42%	
CB_FO_Casa2	1380,0022		36,95		A	76,44%	
MEE1_FN_Casa1	1098,425	1153,95	36,95	36,95	A	87,66%	87,97%
MEE1_FN_Casa2	1100,208		36,95		A	87,44%	
MEE1_FL_Casa1	1203,3817		36,95		A	88,46%	
MEE1_FL_Casa2	1136,2897		36,95		A	87,66%	
MEE1_FS_Casa1	1177,1521		36,95		A	88,22%	
MEE1_FS_Casa2	1172,3419		36,95		A	88,22%	
MEE1_FO_Casa1	1137,1011		36,95		A	87,66%	
MEE1_FO_Casa2	1206,7329		36,95		A	88,46%	
MEE2_FN_Casa1	527,4818	544,47	48,4886	51,05	A	80,29%	80,58%
MEE2_FN_Casa2	508,3212		48,3282		A	80,00%	
MEE2_FL_Casa1	580,355		53,9609		A	81,00%	
MEE2_FL_Casa2	539,2184		53,5599		A	80,78%	
MEE2_FS_Casa1	563,872		48,0737		A	80,29%	
MEE2_FS_Casa2	581,6568		48,2341		A	80,29%	
MEE2_FO_Casa1	506,7788		53,6793		A	81,00%	
MEE2_FO_Casa2	548,1046		54,0803		A	81,00%	
MEE3_FN_Casa1	297,8568	306,35	36,95	36,95	A	89,54%	90,23%
MEE3_FN_Casa2	297,2892		36,95		A	89,75%	
MEE3_FL_Casa1	314,6956		36,95		A	91,05%	
MEE3_FL_Casa2	287,2616		36,95		A	90,32%	
MEE3_FS_Casa1	331,9128		36,95		A	90,32%	
MEE3_FS_Casa2	330,7776		36,95		A	90,32%	
MEE3_FO_Casa1	281,2072		36,95		A	90,02%	
MEE3_FO_Casa2	309,7764		36,95		A	90,54%	

Para a MEE2 a variação na carga de resfriamento entre as orientações foi de 12,87%, sendo que a orientação FO passou a apresentar o menor valor de carga térmica e a orientação

FS o maior valor de carga térmica. Já em se tratando da carga de aquecimento a variação foi de 10,34%, onde a orientação FN apresentou a menor carga e a orientação FO a maior.

Já para a MEE3 a variação da carga térmica de resfriamento entre as orientações aumentou em 15,28%. Para esta solução, assim como para a MEE2, a orientação com maior carga térmica foi a FO e a menor a FS.

Este aumento da variação das cargas entre as orientações pode ter decorrido da diminuição da troca de calor através da cobertura e das janelas. Isto pode ter feito com que a participação das fachadas na transferência de calor através das fachadas aumentasse, e em decorrência disto, aumentou a interferência da orientação solar.

Em se tratando da melhoria de desempenho entre as soluções propostas, a MEE1 obteve uma redução média de 13,65% em relação ao caso base. Além disso, o PHOCt também atingiu um aumento, subindo da média de 75,86% para 87,97%.

Já a com a MEE2 foi possível obter uma redução média de 59,26% da carga térmica de resfriamento em relação ao caso base. Porém, o que chama a atenção é que apesar da redução na carga térmica ter sido maior do que a MEE1, o aumento no PHOCt foi menor. Além disso, esta foi a única proposta que resultou em um aumento da carga térmica de aquecimento, resultando em um aumento médio de 27,41% em relação ao caso base.

E com relação a MEE3, esta solução obteve o melhor desempenho entre as propostas. A redução média na carga térmica de resfriamento foi de 77,08%, e o PHOCt atingido foi consideravelmente alto, chegando a média de 90,23%.

Tais mudanças na envoltória, mantendo o sistema de aquecimento de água do caso base resultou nas classificações finais das habitações, assim como nos percentuais de redução de energia primária, expostos na Tabela 15. Com relação a aplicação da MEE1, a classe resultante das unidades habitacionais foi C, com exceção da casa 2 com orientação FL que atingiu a classe B. Com esta proposta a redução no consumo de energia primária, com relação a edificação de referência, foi em torno de 24%. Já com a aplicação da MEE2 e MEE3 foi possível obter a classificação final B. No caso da MEE 2, a redução no consumo de energia primária foi de cerca de 28%, já com a MEE3 esta redução atingiu valores entorno de 30%.

Tabela 15 - Classificação final do caso base com as MEEs relacionadas à envoltória

Identificação da UH	% REDUÇÃO ENERGIA PRIMÁRIA	CLASSE
MEE1_FN_Casa1	24,71	C
MEE1_FN_Casa2	24,66	C
MEE1_FL_Casa1	24,78	C
MEE1_FL_Casa2	25,01	B
MEE1_FS_Casa1	24,38	C
MEE1_FS_Casa2	24,43	C
MEE1_FO_Casa1	24,98	C
MEE1_FO_Casa2	24,76	C
MEE2_FN_Casa1	28,33	B
MEE2_FN_Casa2	28,41	B
MEE2_FL_Casa1	28,66	B
MEE2_FL_Casa2	28,73	B
MEE2_FS_Casa1	28,27	B
MEE2_FS_Casa2	28,17	B
MEE2_FO_Casa1	28,92	B
MEE2_FO_Casa2	28,87	B
MEE3_FN_Casa1	29,89	B
MEE3_FN_Casa2	29,85	B
MEE3_FL_Casa1	30,47	B
MEE3_FL_Casa2	30,46	B
MEE3_FS_Casa1	29,84	B
MEE3_FS_Casa2	29,86	B
MEE3_FO_Casa1	30,48	B
MEE3_FO_Casa2	30,50	B

Já em se tratando das medidas de eficiência relacionadas ao aquecimento de água, os resultados obtidos pelas propostas estão dispostos na Tabela 16. Estas propostas foram baseadas no relatório de avaliação de sistemas de aquecimento de água das instruções normativas para classificação da eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas e de edificações residenciais (CB3E, 2018) e tiveram seus gastos energéticos verificados através de uma planilha eletrônica disponibilizada pelo CB3E.

Como a orientação solar não foi considerada como influência no gasto com aquecimento de água, as propostas foram separadas por tipo de aquecimento. Para resumir a identificação, as propostas foram nomeadas da seguinte forma:

- AQA1: Uso de aquecedor de passagem a gás com ENCE A (Eficiência: 84%);
- AQA2: Uso de sistema de aquecimento solar com reservatório de 100L, sendo 70% da demanda atendida pela energia termosolar e o restante complementada com energia elétrica.

Tabela 16 - Classificação das propostas para o sistema aquecimento de água

Identificação da proposta	Edificação real			Edificação referência			%Redução	Classe
	Consumo de energia elétrica anual (kWh/ano)	Consumo de energia térmica anual (kWh/ano)	Consumo de energia primária anual (kWh/ano)	Consumo de energia elétrica anual (kWh/ano)	Consumo de energia térmica anual (kWh/ano)	Consumo de energia primária anual (kWh/ano)		
CB	1881,18	0,00	3009,89	1881,18	0,00	3009,89	0,00	D
AQA1	0,00	2136,94	2350,64	1881,18	0,00	3009,89	21,90	A
AQA2	1739,24	0,00	2782,79	4619,58	0,00	7391,32	62,35	A

Verifica-se através da Tabela 16 que as propostas para o sistema de aquecimento de água foram melhor classificadas do que o caso base. Porém, é possível perceber que, para edificação real, o consumo de energia elétrica com a AQA2 foi apenas cerca de 7,55% menor que o caso base. Sua classificação foi A, com redução de cerca de 62% de consumo de energia primária, pois seu desempenho foi comparado a um sistema de aquecimento de água com boiler pouco eficiente, adotado como referência para sistemas de aquecimento com reservatório.

Um dos motivos que podem ser citados para explicar essa pequena redução no consumo de energia elétrica quando aplicada a medida AQA2 são as perdas de temperatura da água relativas ao sistema com reservatórios. Estas perdas consideradas pela INI-R são: perdas na tubulação de distribuição, perdas no reservatório e perdas no circuito de recirculação. Para a propostas AQA2, foram consideradas tubulações em concordância com os pré-requisitos da INI-R relativos ao isolamento. Desta forma, as perdas na tubulação de distribuição foram muito pequenas e as perdas na tubulação de recirculação foram desconsideradas, já que se considerou que o sistema de automação de recirculação também atendia os pré-requisitos da INI-R. Já as perdas no reservatório representavam 99% das perdas do sistema de aquecimento de água, considerando um reservatório de 100L, metade da demanda diária da residência, e uma tubulação de cerca de 10 m. Assim, as perdas no reservatório se tornaram cruciais na determinação do sistema utilizado neste estudo de caso, tendo em vista que em testes com reservatório de 200L, e até mesmo com reservatório de 150L, a proposta AQA2 passava a consumir mais energia elétrica do que o caso base.

É importante mencionar que o uso do sistema de aquecimento solar sem o uso de reservatório, com complementação através de chuveiro elétrico, não foi testado. Este tipo de medida pode apresentar bons resultados em relação à redução do consumo de energia, porem esta depende consideravelmente dos hábitos de consumo do usuário. Desta forma, como a avaliação da redução do consumo pode ser consideravelmente difícil de estimar, esta proposta não foi avaliada.

Com estas considerações, foi possível obter a classificação final das UHs com as propostas para o sistema de aquecimento de água, apresentada na Tabela 17. É válido lembrar que os valores de percentual de redução são baseados na energia primária utilizada nas edificações de referência para cada tipo de sistema. Assim, a proposta AQA1 é comparada à um chuveiro elétrico e a proposta AQA2 é comparada com um boiler pouco eficiente.

Tabela 17 - Classificação final das UHs com as propostas para o sistema de aquecimento de água

Identificação da UH	% REDUÇÃO	CLASSE
AQA1_FN_Casa1	32,13	B
AQA1_FN_Casa2	32,00	B
AQA1_FL_Casa1	32,29	B
AQA1_FL_Casa2	32,43	B
AQA1_FS_Casa1	31,78	B
AQA1_FS_Casa2	31,90	B
AQA1_FO_Casa1	32,33	B
AQA1_FO_Casa2	32,20	B
AQA2_FN_Casa1	49,70	A
AQA2_FN_Casa2	49,63	A
AQA2_FL_Casa1	49,70	A
AQA2_FL_Casa2	49,81	A
AQA2_FS_Casa1	49,47	A
AQA2_FS_Casa2	49,54	A
AQA2_FO_Casa1	49,75	A
AQA2_FO_Casa2	49,64	A

4.3 Payback

Para análise de viabilidade financeira das medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória, primeiramente foram determinados os custos das aplicações das MEEs, apresentados na Tabela 18. Em se tratando da MEE1, os insumos considerados foram os necessários para atingir a composição proposta. Neste caso, como o sistema de cobertura já apresentava telhas cerâmicas, foram considerados apenas a manta reflexiva e a lã de rocha, apresentados como um só insumo no SINAPI, o forro de madeira e o concreto extra, utilizado para fazer uma laje maciça, ao invés da laje com tavelas cerâmicas. Para isto, foi considerado que o volume de concreto utilizado para a laje com tavelas era de 0,05 m³ por m² de laje, e que para ambos os tipos de lajes a espessura era de 12 cm.

Já para a MEE2, como os insumos necessários não estavam presentes no SINAPI, foram utilizados preços de uma loja de construção da região. Como nesta loja não havia uma janela nas dimensões de 150x120 cm, foi considerado o preço da janela de 160x120 cm. Já para as janelas dos banheiros, não foram considerados os vidros insulados, mas foram considerados os vidros novos, por não ser possível diferenciar os gastos com esquadria da edificação real. Desta forma, os gastos com as janelas originais foram retirados do custo final da MEE2 para que restasse apenas o gasto incremental.

Tabela 18 - Custos incrementais referentes as aplicações de MEEs

Custos MEEs		
Insumo	Custo Unit.	Custo Total
Lã de rocha	19,86	1.255,41
Forro de madeira	14,70	929,23
Concreto	276,53	1.176,28
Custo Final MEE 1		3.360,92
Janela 160x120	4.060,90	4.060,90
Janela 150x120	4.060,90	8.121,80
Janela 120x120	2.530,90	2.530,90
Janela Banho	169,90	169,90
Custos - Esquadrias originais		-1.048,84
Custo Final MEE 2		13.834,67
Custo Final MEE 3		17.195,59

Após, foram determinados os custos anuais com eletricidade para cada caso analisado. Em seguida, foram determinadas as economias em relação ao caso base para cada uma das MEEs propostas, para cada uma das orientações. A partir destes valores, foram determinados os períodos de payback e as TIRs médias para cada MEEs. Estes valores são apresentados na Tabela 19.

Analisando a Tabela 19, nota-se os elevados valores de payback. Todos os valores alcançados superam 70 anos, valores muito maiores que o estipulado de 10 anos. Isto fez com que as TIRs calculadas apresentaram valores negativos, já no que período calculado o investimento inicial não se paga. Por este motivo, os valores de TIR não foram apresentados.

Estes valores não necessariamente indicam que as medidas propostas não são de fato eficientes. Estes resultados podem decorrer do fato de que estas medidas não são as mais propicias para este tipo de empreendimento, principalmente em se tratando da geometria de sua envoltória.

Em relação aos resultados, destaca-se a redução no payback com a aplicação conjunta das propostas para a envoltória. Isto indica que, apesar dos valores elevados de payback, as aplicações de eficiência energética tendem a apresentar reduções consideráveis no consumo energético de residências.

Tabela 19 - Análise de viabilidade financeira das propostas para envoltória

Identificação da UH	Consumo mensal de eletricidade (kWh/mês)	Custo anual com eletricidade (R\$)	Economia anual com relação ao Caso Base	Economia anual média com relação ao Caso Base	Payback Simples (Anos)	TIR (10 anos)
CB_FN_Casa1	304,27	2420,18	-	-	-	-
CB_FN_Casa2	304,62	2423,14				
CB_FL_Casa1	306,31	2437,72				
CB_FL_Casa2	305,00	2426,42				
CB_FS_Casa1	306,33	2437,81				
CB_FS_Casa2	305,91	2434,27				
CB_FO_Casa1	305,34	2429,33				
CB_FO_Casa2	306,69	2440,94				
MEE1_FN_Casa1	299,45	2378,68	41,50	40,27	83,46	-
MEE1_FN_Casa2	299,49	2379,07	44,06			
MEE1_FL_Casa1	302,15	2401,89	35,83			
MEE1_FL_Casa2	300,42	2387,05	39,37			
MEE1_FS_Casa1	301,47	2396,09	41,72			
MEE1_FS_Casa2	301,35	2395,02	39,24			
MEE1_FO_Casa1	300,44	2387,23	42,10			
MEE1_FO_Casa2	302,23	2402,63	38,31			
MEE2_FN_Casa1	285,06	2254,98	165,19	171,92	80,47	-
MEE2_FN_Casa2	284,56	2250,71	172,42			
MEE2_FL_Casa1	286,56	2267,88	169,84			
MEE2_FL_Casa2	285,49	2258,70	167,72			
MEE2_FS_Casa1	285,98	2262,94	174,87			
MEE2_FS_Casa2	286,45	2266,91	167,36			
MEE2_FO_Casa1	284,66	2251,55	177,78			
MEE2_FO_Casa2	285,73	2260,78	180,16			
MEE3_FN_Casa1	278,86	2201,66	218,52	227,69	75,52	-
MEE3_FN_Casa2	278,84	2201,53	221,60			
MEE3_FL_Casa1	279,29	2205,38	232,34			
MEE3_FL_Casa2	278,58	2199,31	227,11			
MEE3_FS_Casa1	279,73	2209,19	228,62			
MEE3_FS_Casa2	279,70	2208,94	225,33			
MEE3_FO_Casa1	278,43	2197,98	231,35			
MEE3_FO_Casa2	279,16	2204,29	236,65			

Em se tratando dos custos para aplicação das propostas para o sistema de aquecimento de água, os mesmos estão dispostos na Tabela 20. O procedimento para determinação dos gastos seguiu o mesmo princípio do método usado para as propostas para envoltória.

Tabela 20 - Custos de aplicação das propostas para o sistema aquecimento de água

Custos MEEs		
Insumo	Custo Unit.	Custo Total
Aquecedor	1.500,00	1.500,00
Tubo CPVC 22 mm	11,17	111,70
Isolamento	1,21	12,10
Custo Final AQA1		1.623,80
Boiler + Coletor	2.053,00	2.053,00
Tubo CPVC 22 mm	11,17	111,70
Isolamento	1,21	12,10
Custo Final AQA2		2.176,80

No que diz respeito ao sistema de distribuição, como hipótese simplificadora, considerou-se uma tubulação de água quente de aproximadamente 10 m de comprimento, e que não haveriam gastos com tubulações adicionais de água fria. Foram considerados tubos de CPVC de 22 mm e isolantes de 10 mm, já que este era o insumo mais próximo ao isolamento indicado na INI-R, de 13 mm.

Para o AQA1, considerou-se o preço de um equipamento nível A em uma loja de materiais de construção da região. Já para a AQA2, considerou-se o item da SINAPI referente a um sistema com boiler de 200 L e duas placas coletoras com 1,42 m² de superfície cada, já que este era o insumo mais próximo ao sistema considerado para análise.

Após isto foi realizada análise de viabilidade financeira destas propostas, apresentada na Tabela 21. Em se tratando da proposta AQA1, além do custo com eletricidade também foi considerado o custo com o gás GLP. De acordo com a INI-R, seriam necessários 13,79 Kg de gás por mês. Desta forma, foi adotado que seria necessário a compra de 1 cilindro de 13 Kg de GLP por mês. Assim, para a determinação do custo de compra, foi considerado o preço médio de R\$ 67,30 por cilindro, apresentado para o estado de Santa Catarina para o mês de setembro de 2018 pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Com estas considerações, foi possível obter para a proposta AQA1 um payback de 3 anos e uma TIR de 30,93%, consideravelmente acima da TMA adotada de 12%. Já para a proposta AQA2 o payback obtido foi de 21 anos. Como este valor está acima do considerado máximo para este trabalho, a TIR não foi calculada.

No que diz respeito ao possível uso das medidas de eficiência energética relacionadas à envoltória e as relacionadas ao sistema de aquecimento de água em conjunto, este cenário não foi verificado. Isto se deve ao fato de que, em se tratando de viabilidade

financeira, as propostas relacionadas à envoltória obtiveram valores de payback consideravelmente acima do valor máximo estipulado. Além disto, estas medidas também apresentaram custos de implantação maiores do que as relacionadas ao sistema de aquecimento de água.

Tabela 21 - Análise de viabilidade financeira das propostas para o sistema de aquecimento de água

Identificação da UH	Consumo mensal de eletricidade (kWh/mês)	Custo anual com eletricidade (R\$)	Custo anual com gás GLP (R\$)	Economia anual com relação ao Caso Base	Economia anual média com relação ao Caso Base	Payback Simples (Anos)	TIR (10 anos)
CB_FN_Casa1	304,27	2420,18	-	-	-	-	-
CB_FN_Casa2	304,62	2423,14					
CB_FL_Casa1	306,31	2437,72					
CB_FL_Casa2	305,00	2426,42					
CB_FS_Casa1	306,33	2437,81					
CB_FS_Casa2	305,91	2434,27					
CB_FO_Casa1	305,34	2429,33					
CB_FO_Casa2	306,69	2440,94					
AQA1_FN_Casa1	147,51	1075,68	807,60	536,89	538,57	3,02	30,93%
AQA1_FN_Casa2	147,85	1078,19		537,34			
AQA1_FL_Casa1	149,55	1090,57		539,56			
AQA1_FL_Casa2	148,24	1080,98		537,84			
AQA1_FS_Casa1	149,56	1090,64		539,57			
AQA1_FS_Casa2	149,15	1087,64		539,03			
AQA1_FO_Casa1	148,57	1083,45		538,28			
AQA1_FO_Casa2	149,92	1093,30		540,05			
AQA2_FN_Casa1	292,45	2318,49	-	101,69	101,69	21,41	-
AQA2_FN_Casa2	292,79	2321,45		101,69			
AQA2_FL_Casa1	294,49	2336,03		101,69			
AQA2_FL_Casa2	293,17	2324,73		101,69			
AQA2_FS_Casa1	294,50	2336,12		101,69			
AQA2_FS_Casa2	294,09	2332,58		101,69			
AQA2_FO_Casa1	293,51	2327,64		101,69			
AQA2_FO_Casa2	294,86	2339,25		101,69			

Um ponto que deve ser ressaltado, além dos custos com aquecimento da água em si, diz respeito a vazão de água despendida para cada tipo de aquecedor. Sistemas com aquecedores a gás, assim como com aquecimento solar, podem apresentar vazões maiores de água. Isto implicaria em custos maiores com a conta de água, aumentando o payback e diminuindo a TIR do investimento de aplicação destas propostas. Porém, há uma dificuldade de se estabelecer estes custos, que podem variar muito conforme os hábitos dos usuários. Desta forma, estes gastos não foram verificados.

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi usado como caso base uma edificação destinada a famílias de baixa renda, apresentada no Anexo A. Para esta edificação foi realizada a análise de eficiência energética através do método simplificado da nova proposta para o método brasileiro de etiquetagem de residências. Além disso, esta análise foi realizada verificando o caso base em todas as orientações solares (Norte, Leste, Sul e Oeste), tendo em vista o fato de que muitas vezes estas edificações são replicadas em diversos locais, independentemente da orientação solar do terreno a ser utilizado.

Após, foram propostas medidas de eficiência energética para buscar um melhor desempenho da edificação. Estas propostas foram avaliadas também através do método simplificado da nova proposta de método brasileiro de etiquetagem de residências, assim como tiveram suas viabilidades financeiras avaliadas.

Com relação ao caso base, os resultados demonstram que a envoltória da edificação, quando analisada para todas as orientações solares, apresenta um bom desempenho térmico, representando em média uma redução de cerca de 73% da carga térmica de resfriamento em relação a edificação referência usada no método simplificado. Desta forma, o sistema de envoltória do caso base obteve classe A. Tal comportamento se deve principalmente ao fato de que as áreas de fachadas da edificação são consideravelmente pequenas, já que as paredes laterais das casas não foram consideradas expostas. Porém, em se tratando do sistema de aquecimento de água, o caso base obteve classe D, já que tanto a edificação real como a edificação de referência utilizam o chuveiro elétrico. Desta forma, a classificação final do caso base foi C, sendo que as unidades habitacionais analisadas, para todas as orientações solares, obtiveram uma média de cerca de 23% de redução de consumo de energia com relação a edificação de referência.

Em se tratando das medidas de eficiência energética relacionadas a envoltória, a primeira proposta avaliada foi a substituição do sistema de cobertura por uma composição mais eficiente e com absorvância menor. Com esta proposta foi possível obter uma redução média de cerca de 13% na carga térmica de resfriamento em relação ao caso base. Porém tal proposta não resultou na alteração da classificação final das unidades habitacionais, sendo que a maioria delas se manteve como classe C, com exceção da casa 2 quando seus fundos estão voltados para o leste, que obteve classe B.

A segunda proposta avaliada para o sistema de envoltória foi a substituição do tipo de vidro utilizado nas janelas por vidros insulados, com menor transmitância e fator solar.

Esta proposta resultou em uma redução média da carga térmica de resfriamento de cerca de 59% em relação ao caso base. Porém, esta medida também resultou em um aumento médio de cerca de 27% da carga térmica de aquecimento. Com esta proposta foi possível obter classe final B em todas as orientações solares, com uma redução média de consumo de energia primária em relação a edificação de referência de cerca de 28%.

A última proposta para o sistema de envoltória foi o uso, em conjunto, das medidas de eficiência energética anteriores. Desta forma, foi possível obter uma redução na carga térmica de resfriamento de cerca de 77% em relação ao caso base. Além disso, tal proposta não resultou em um aumento de carga térmica de aquecimento. Com esta medida também foi obtida a classificação final B, sendo que a redução média de consumo de energia primária em relação a edificação de referência foi de cerca de 30%.

Já em se tratando das medidas de eficiência energética referentes ao sistema de aquecimento de água, ambas as propostas, de uso de aquecedores a gás e de uso de aquecimento solar, obtiveram classificação A. No caso do uso do aquecedor a gás, este obteve uma redução de cerca de 22% em relação ao consumo de energia primária do chuveiro elétrico adotado como referência para sistemas de aquecimento sem armazenamento. Já no caso do uso do aquecimento solar foi possível obter uma redução de cerca de 62% em relação à energia primária utilizada pelo boiler adotado como referência para sistemas de aquecimento individuais com armazenamento. Porém, a redução no consumo de energia elétrica com relação ao caso base foi de cerca de 7%.

No que diz respeito à viabilidade financeira, as propostas de medidas de eficiência energética obtiveram resultados bem diferentes. As propostas relacionadas ao sistema de envoltória apresentaram valores de payback muito elevados, sendo o menor deles em torno de 75 anos, para aplicação em conjunto da alteração no sistema de cobertura e do tipo de vidro. Já as propostas relacionadas ao sistema de aquecimento de água obtiveram melhores resultados. A proposta do uso de aquecedores a gás obteve um payback de aproximadamente 3 anos, sendo a única medida proposta que chegou a valores menores do que 10 anos. A TIR alcançada para esta proposta foi de cerca de 31%, ultrapassando o valor de TMA adotada de 12%.

Eventuais usos em conjunto de medidas de eficiência energética propostas para a envoltória e para o sistema de aquecimento de água foram descartados. Isto se deve ao fato de que as propostas relacionadas à envoltória obtiveram valores de payback consideravelmente acima do valor máximo estipulado.

Desta forma, os objetivos atribuídos a este trabalho foram alcançados. De maneira geral, foi possível verificar diversas maneiras de obter eficiência energética e avaliar a viabilidade financeira de aplicação de propostas neste sentido. Porém, é válido ressaltar que para melhores avaliações se faz necessário um melhor detalhamento das propostas, principalmente no que diz respeito ao sistema de aquecimento de água.

5.1 Limitações do trabalho

Dentre as principais dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho pode-se destacar a simplificação da determinação dos custos de implantação das medidas de eficiência energética. Isto se deve ao fato da dificuldade na verificação de insumos dentro do SINAPI e da não existência de projetos detalhados, principalmente no caso das propostas para o sistema de aquecimento de água, para o correto dimensionamento e quantificação dos insumos.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Em se tratando especificamente de casas geminadas, sugere-se o devido projeto de sistemas de aquecimento de água tanto por gás quanto pelo uso de coletores solares. Com o apropriado detalhamento destes diferentes tipos de projetos seria possível determinar com exatidão o custo da aplicação destes diferentes tipos de sistemas. Além disso, caso seja possível, também seria interessante a determinação do custo com mão de obra, para uma análise de viabilidade mais exata. Isto seria de grande importância, principalmente para esta tipologia de construção, onde a área de fachadas expostas é pequena e o impacto do sistema de aquecimento de água na eficiência energética da casa é elevado.

Também pode ser sugerido o estudo de outras conformações de casas geminadas, com áreas de fachada mais expostas. Um exemplo disto pode ser as casas geminadas de dois andares. Seria interessante verificar se, para estes casos, as mudanças na envoltória passariam a apresentar maiores reduções no consumo energético das unidades habitacionais.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15575: Desempenho de edificações habitacionais**. 2013

ALVES, José Eustáquio Diniz; CAVENAGHI, Suzana. **Déficit habitacional, famílias conviventes e condições de moradia**. II Encontro Nacional de Produtores e Usuários de Informações Sociais, Econômicas e Territoriais – IBGE. 2006.

AMORIN, Rafael Ponce de Leon; MONTEIRO, José Rodrigo Viana. **A influência das cores no ganho térmico de superfícies cerâmicas**. Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2013.

ANEEL. **Bandeiras Tarifárias**. 2017. Acesso em < <http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias> >.

ANP. **Preços ao consumidor consolidados – GLP**. 2018. Acesso em: <<http://www.anp.gov.br/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-ao-consumidor>>.

AsBEA. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15.575**. 2015. Acesso em: < <http://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/Guia-Para-Arquitetos-na-Aplicacao-da-Norma-de-Desempenho.pdf>>.

BOSA, Augusto Macarini. **Análise de eficiência energética de projetos de residências do programa minha casa minha vida**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

CB3E. **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Florianópolis, 2018.

_____. **Avaliação de sistemas de aquecimento de água das Instruções Normativas para classificação da eficiência energética de edificações comerciais, de serviços e públicas e de edificações residenciais**. Florianópolis, 2018.

Cebrace. **Vidros de proteção solar por quem mais entende de vidro**. Acesso em: < <http://www.cebrace.com.br/Arquivos/Download/21/21.pdf> >.

DE BONA, Renan Marcos. **Classificação energética de uma sala comercial: Estudo de caso Academia Smart Fit**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

ELI, Letícia Gabriela. **Avaliação de medidas de eficiência energética em uma edificação multifamiliar por meio do regulamento brasileiro de etiquetagem**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

EPE. **Balanco energético nacional – Ano base 2016**. 2017.

EPE. **Demanda de energia 2050**. 2016.

FJP. **Déficit habitacional no Brasil – 2015**. 2018.

FOSSATI, Michele; SCALCO, Veridiana Atanasio; LINCZUK, Vinícius Cesar Cadena; LAMBERTS, Roberto. **Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme**. ELSEVIER, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 2016.

GHISI, Enedir; FEDRIGO, Natália Sens; GONÇALVES, Guilherme; LUCAS, Paulo Figueiredo. **Usos Finais de Energia Elétrica no Setor Residencial Brasileiro**. Relatório de Iniciação Científica. Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

GHISI, Enedir; SILVA, Arthur Santos; LUIZ, Fernando; MANSUR, Ana Carolina; VIERA, Abel Silva; SCHAEFER, Aline. **Knowing electricity end-use to successfully promote energy efficiency in buildings a case study in low-income houses in Southern Brazil**. International journal of Sustainable Energy Planning and Management, 2014.

GOVERNO DO BRASIL. **Entenda as novas regras do Minha Casa Minha Vida**. 2018. Acesso em: < <http://www.brasil.gov.br/noticias/entenda/2017/12/entenda-as-novas-regras-do-minha-casa-minha-vida> >.

IDEC. **Como funcionam as bandeiras tarifárias na conta de luz?** 2018. Acesso em: < <https://idec.org.br/dicas-e-direitos/como-funcionam-bandeiras-tarifarias-na-conta-de-luz> >.

INDIVIATA, Andrea. **Método de avaliação multicritério de estratégias de projeto de edificações mais sustentáveis**. Tese (Pós-graduação em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

INMETRO. **Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações. Anexo Geral V - Catálogo de propriedades térmicas de paredes, coberturas e vidros**. 2013.

INVIDIATA, Andrea; SOUSA, Raquel Fernandes de; MELO, Ana Paula; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. **Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro**. XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2016.

LabEEE. **Casa eficiente: simulação computacional do desempenho termo-energético**. Florianópolis, 2010. Acesso em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/livros/CasaEficiente_vol_IV_WEB.pdf>.

LabEEE. **Projeto 6 Cidades**. Acesso em: < <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/projeto-6-cidades> >.

LIMA, Glenio; PEDRINI, Aldomar; ALVES, André. **Avaliação do desempenho térmico de uma habitação de interesse social localizada no clima quente e úmido da cidade de parnamirim/rn com base no método de simulação do RTQ-R**. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012.

MARTINS, Kellen Shara Araujo. **Programa Minha Casa Minha Vida: uma avaliação das contribuições do programa para a redução do déficit habitacional no Brasil (2008-2012)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal do Maranhão, 2016.

MAURÍCIO RORIZ. **Classificação de climas do brasil –Versão 3.0.** 2014.

MELO, Ana Paula; WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. **Avaliação computacional de estratégias para a redução do consumo de energia elétrica em um hotel de Florianópolis.** XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Programa Minha Casa, Minha Vida.** 2016. Acesso em: < <http://www.minhacasaminhavid.gov.br/habitacao-cidades/programa-minha-casa-minha-vida-pmcmv> >.

MONTES, María Andrea Triana. **Abordagem integrada no ciclo de vida de habitação de interesse social considerando mudanças climáticas.** Tese (Pós-graduação em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

MUTTI, Cristine do Nascimento. **Guia prático para trabalho de conclusão de curso em construção civil: graduação e pós-graduação.** Florianópolis: Secco, 2008. 87p.

WEBER, Fernando da Silva. **Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa Energyplus.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2018.

THÉRY, Hervé. **Novas paisagens urbanas do programa minha casa, minha vida.** Mercator. Universidade Federal do Ceará, 2017.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. **Estudo de viabilidade econômica de uma proposta de retrofit em um edifício comercial.** V Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e II Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, 1999.

APÊNDICE A – Valores de áreas de fachadas e percentuais de vidro para condição real e de referência

Orientação dos fundos - Norte									
FN-Casa 01					FN-Casa 02				
Sala		Área (m²)			%V		%V		%V
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref					
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%	1,51	17,2%	13,5%
	S	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%	1,14	21,9%	17,3%
	O	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%	0	0,0%	0,0%

Dorm 1		Área (m²)			%V		%V		%V
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref					
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
	S	7,14	1,80	1,40	25,2%	19,6%	1,40	25,2%	19,6%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%

Dorm 2		Área (m²)			%V		%V		%V
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref					
Orientação	N	7,14	1,80	1,12	25,2%	15,7%	1,12	25,2%	15,7%
	L	3,64	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%	0	0,0%	0,0%

Orientação dos fundos - Leste									
FL-Casa 01					FL-Casa 02				

Sala		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%

Sala		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%
	O	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%

Dorm 1		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	7,14	1,8	1,40	25,2%	19,6%

Dorm 1		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	7,14	1,8	1,40	25,2%	19,6%

Dorm 2		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	7,14	1,8	1,12	25,2%	15,7%
	S	3,64	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Dorm 2		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	3,64	0	0	0,0%	0,0%
	L	7,14	1,8	1,12	25,2%	15,7%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Orientação dos fundos - Sul									
FS-Casa 01					FS-Casa 02				

Sala		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%
	L	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Sala		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%

Dorm 1		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	7,14	1,80	1,40	25,2%	19,6%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Dorm 1		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	7,14	1,80	1,40	25,2%	19,6%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Dorm 2		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	7,14	1,80	1,12	25,2%	15,7%
	O	3,64	0	0	0,0%	0,0%

Dorm 2		Área (m²)			%V	
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref	Real	Ref
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	3,64	0	0	0,0%	0,0%
	S	7,14	1,80	1,12	25,2%	15,7%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Orientação dos fundos - Oeste									
FO-Casa 01					FO-Casa 02				

Sala		Área (m²)			%V Real	%V Ref
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref		
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%
	S	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Sala		Área (m²)			%V Real	%V Ref
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref		
Orientação	N	11,17	1,92	1,51	17,2%	13,5%
	L	6,58	1,44	1,14	21,9%	17,3%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

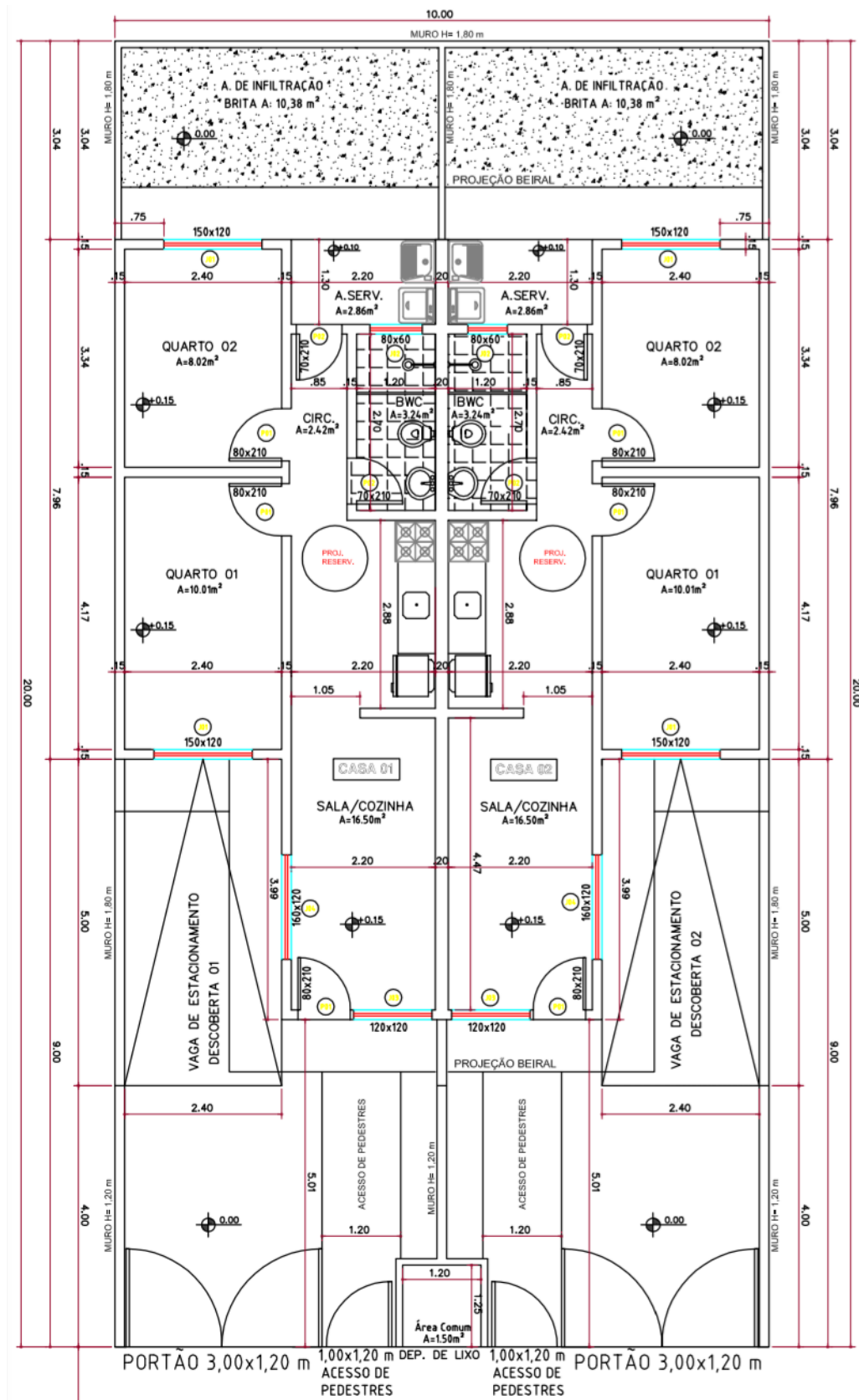
Dorm 1		Área (m²)			%V Real	%V Ref
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref		
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	7,14	1,80	1,40	25,2%	19,6%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Dorm 1		Área (m²)			%V Real	%V Ref
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref		
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	7,14	1,80	1,40	25,2%	19,6%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	0	0	0	0,0%	0,0%

Dorm 2		Área (m²)			%V Real	%V Ref
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref		
Orientação	N	3,64	0	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	0	0	0	0,0%	0,0%
	O	7,14	1,80	1,12	25,2%	15,7%

Dorm 2		Área (m²)			%V Real	%V Ref
		Fachada	Vidro Real	Vidro Ref		
Orientação	N	0	0	0	0,0%	0,0%
	L	0	0	0	0,0%	0,0%
	S	3,64	0	0	0,0%	0,0%
	O	7,14	1,80	1,12	25,2%	15,7%

ANEXO A – Planta baixa do caso base



Fonte: Eng. Bruno César M. Pereira